

“Seguridad hídrica como respuesta al cambio climático”



Editores:

Dra. Pilar Tello Espinoza (México)
Dra. Gabriela E. Moeller Chávez (México)
Dr. Carl Soderberg (Puerto Rico)
Dr. Reynaldo Gonzalez (USA)

Presidente de la AIDIS

MC. Ing. Hugo Esteban Leigue Silva

Vicepresidente técnica de la AIDIS

MC. Lic. Mirna Noemy Argueta Irías

Editores

Dra. Pilar Tello Espinoza (México)

Dra. Gabriela E. Moeller Chávez (México)

Dr. Carl Soderberg (Puerto Rico)

Dr. Reynaldo Gonzalez (USA)

Edición 2022

Diseño, formación y revisión

"Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier motivo, sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales".

Esta Obra ha sido producida con el apoyo financiero del “Proyecto Miami Beach Perú” del Grupo VERONA, ubicado en la ciudad de Casma, Perú. Su contenido es responsabilidad exclusiva de AIDIS y no necesariamente refleja los punto de vista del Proyecto Miami Beach Perú.

El comité Ejecutivo de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) preparado el presente libro con expertos de diferentes países de América Latina. La obra aborda 10 capítulos de diversos temas sobre la problemática hídrica que se presenta en su país. Los Autores presentan casos y experiencias que pueden se adaptadas como base para la aplicación de medidas que permitan avanzar las necesidades de cada país de la región.



GRUPO
VERONA



INDICE
“Seguridad hídrica como respuesta al cambio climático”

Agradecimientos

Prólogo

Abreviaturas

CAPITULO 1: Impacto del cambio climático sobre la seguridad hídrica. Dr. Carl Soderberg . Puerto Rico.

CAPITULO 2: Fenómenos hidrológicos extremos: inundaciones y sequías. Edilberto Guevara Pérez, PhD- Perú

CAPITULO 3: La seguridad hídrica desde el punto de vista del potencial destructivo del agua. Gian Franco Morassutti. Universidad de Carabobo. Venezuela.

CAPITULO 4: La afectación al cambio climático y a los recursos hídricos por la presencia de los residuos sólidos y los lixiviados. Dra. Pilar Tello Espinoza. México

CAPITULO 5: El cambio climático, la seguridad hídrica y el reúso seguro del agua como una fábrica de agua. Rafael Dautant. Universidad de Carabobo. Venezuela

CAPITULO 6. La nueva concepción de ingeniería para el diseño e infraestructura verde como reto ante el cambio climático. Ing. Jorge Triana Soto. Colombia

CAPITULO 7: La seguridad hídrica en los diversos usos del agua en la industria. Dra. Gabriela E. Moeller Chávez. México

CAPITULO 8: Cambio climático, saneamiento y seguridad hídrica. Del saneamiento básico al saneamiento integral. Caso lago Maracaibo Venezuela Ing. Boris Castellano. Venezuela

CAPITULO 9: Cambio climático: La experiencia chilena para superar situaciones de desastres en los Servicios de Agua Potable y Aguas Servidas
Ing. Alex Chechilnitzky. Chile

CAPITULO 10: Seguridad hídrica y gestión de riesgos en México. Dra. Blanca Jiménez-Cisneros. Ing. Víctor Hugo Alcocer-Yamanaka. Ing. Javier Aparicio. México

CAPITULO 1: IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA SEGURIDAD HÍDRICA

Dr. Carl Soderberg.

Puerto Rico.

1.1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático impacta significativamente la seguridad hídrica, lo cual incide sobre la disponibilidad y la calidad de tan importante recurso. Asimismo, produce efectos colaterales sobre el recurso hídrico que impactan en la salud pública, agricultura y generación de electricidad.

Varios eventos recientes son indicios de que el cambio climático se está intensificando, por ejemplo, en julio de 2019 se registró el mes más caluroso del planeta en los últimos 140 años (NASA 2019), periodo en el que hubo un derretimiento de 197,000 millones de toneladas de hielo en Groenlandia, cuando el promedio es de 70,000 toneladas de hielo (Instituto Meteorológico de Dinamarca, 2020). Así mismo, la tasa de derretimiento de glaciares en la Cordillera de los Himalayas se ha duplicado en el siglo XXI (Science Advances 2019). Estas dos situaciones aceleran el incremento en el nivel del mar y las repercusiones sobre el recurso agua, entre otras. Por otra parte en el 2019, la prolongada sequía en el sur de México provocaron la desaparición de las míticas lagunas de la selva Lacandona, tal caso es el del lago Metzabok el cual se secó por completo en agosto de 2019 (El Nuevo Día, agosto 2019).

1.2. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL RECURSO HÍDRICO

Los efectos del cambio climático se manifiestan principalmente en la alteración del ciclo natural de agua, entre los que se encuentran los siguientes.

1.2.1. Aumento del nivel del mar

El aumento de nivel del mar incrementará la intrusión de agua salada a los acuíferos costeros y ríos propiciando una reducción del agua subterránea dulce, ocasionando el cierre de pozos de agua potable, de riego agrícola, así como el abandono de tomas de agua para plantas potabilizadoras cerca de la costa.

Otro impacto identificado es la emigración masiva de personas que residen en áreas cercanas a la costa, hacia otros pueblos y ciudades del mismo país u otros países debido al aumento de fenómenos hidrometeorológicos extremos como las inundaciones, entre los países más afectados se pueden mencionar ~~serán~~ Brasil, Antillas Caribeñas, costa este de México, puntos singulares de Ecuador y Perú y las principales aglomeraciones de población de Chile (Efectos del Cambio Climático en las Costas, CEPAL 2012).

Este aumento poblacional en los pueblos y ciudades donde ocurrirá la inmigración ejercerá una demanda adicional de agua que excederá la capacidad de la infraestructura existente de suministro de agua. Complicando así el abasto de agua de estos pueblos o ciudades que en muchos casos mermará por el cambio climático.

1.2.2. Aumento de temperatura

La temperatura es otro factor que se verá alterado por el cambio climático y traerá como consecuencia el aumento de ésta, afectando la disponibilidad de agua por varias vertientes, entre las que se encuentran:

- a) Derretimiento de los glaciares andinos.** Esta situación ya está afectando a ciudades cuya fuente principal de agua son los glaciares. Por lo que el derretimiento de éstos podría afectar la disponibilidad de agua de las ciudades, entre las que se encuentran: Quito, La Paz y Lima (Stern, Nicolas, The Economics of Climate Change 2007). Perú será el país más impactado por la desaparición de glaciares, ya que ha perdido el 22% de los glaciares y se pronostica que el suministro de agua se reducirá hasta en un 60%. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) estima que la contracción de glaciares y el derretimiento de casquetes de hielo afectará el suministro de agua a 30 millones de habitantes de ALC para el 2030 (IPCC, Cuarto Informe de Evaluación sobre Cambio Climático 2007).
- b) Incremento en la demanda de agua para riego agrícola.** Se estima que se necesitará un 20% más de agua para cultivar la misma cantidad de alimento. (FAO 2018)
- c) Incremento en la demanda de agua para enfriamiento.** Se requerirá un mayor consumo de este recurso en los procesos de enfriamiento de las plantas termoeléctricas, así como de edificios, oficinas, edificios comerciales, hospitales e industrias (ONU, Perspectivas sobre el Medio Ambiente Mundial: ALC, 2017)
- d) Crecimiento desmedido de algas.** Las temperaturas altas favorecen el desarrollo de algas, lo que puede ocasionar una interrupción del suministro de agua por problemas en las plantas potabilizadoras (Journal of the American Water Works Association (AWWA), agosto 2018). Como lo ocurrido en agosto de 2014 en la planta potabilizadora de la ciudad de Toledo, Ohio, Estados Unidos, donde se registró un brote de algas cerca de la toma de agua, ocasionando un aumento en los niveles de toxinas en el agua procesada por la planta potabilizadora. Como consecuencia 400,000 personas no pudieron consumir el agua, ni utilizarla para cocinar y cepillarse los dientes por tres días seguidos (Opflow, AWWA, febrero 2015).
- e) Incendios forestales y de pastizales.** Los incendios eliminan el sistema natural para amortiguar el impacto de la lluvia sobre el terreno, lo que propicia un mayor grado de erosión y arrastre de sedimentos a los cuerpos de agua, los cuales

reducen su capacidad de almacenamiento de agua y limitando la disponibilidad del recurso durante las sequías (Opflow, AWWA, mayo 2014). Así mismo, los sedimentos pueden obstaculizar las tomas de agua de las plantas potabilizadoras, provocando interrupciones en el suministro de agua.

1.2.3. Aumento de frecuencia e intensidad de episodios de lluvias torrenciales

Otra de las manifestaciones del cambio climático es el aumento de la frecuencia e intensidad de episodios de lluvia torrenciales (Stern, Nicolas, The Economic Impacts of Climate Change, 2006), las cuales causan un mayor grado de erosión de los terrenos y arrastre de sedimentos a los cuerpos de agua, reduciendo la capacidad efectiva de almacenamiento en lagos y embalses.

En las ciudades las lluvias torrenciales pueden causar deslaves y desprendimientos que destruyen la tubería de transmisión, además los sedimentos o escombros arrastrados pueden obstaculizar las tomas de agua de plantas potabilizadoras. Así mismo, se puede ver afectado el suministro de energía eléctrica causando la interrupción del suministro de agua (Soderberg, Situación del Recurso Agua en Puerto Rico, 2018).

1.2.4. Merma en la lluvia

El cambio climático aumentará la lluvia en algunos países, pero reducirá la lluvia en otros países, algunos modelos meteorológicos proyectan que la lluvia se reducirá en un 20% en las Antillas Caribeñas para el 2030. Además, se anticipa una merma de lluvia en el área conocida como el Corredor Seco de Centroamérica. Esta área abarca los países de Guatemala, Honduras Nicaragua, El Salvador y la península de Azua en Panamá.

El IPCC pronostica que para el 2030 el cambio climático causará estrés hídrico a 81 millones de habitantes de ALC. El IPCC proyecta que para el 2050 un total de 178 millones de habitantes de ALC sufrirán de estrés hídrico atribuible al cambio climático. (IPCC, Cuarto Informe de Evaluación 2007).

1.2.5. Aumento de frecuencia e intensidad de sequías

Otra de las consecuencias del cambio climático es el aumento de la frecuencia e intensidad de sequías, ya que en 2015 se registró en varios países de América Latina y el Caribe sequías severas. Panamá tuvo que racionar el suministro de agua y el suministro de energía eléctrica. Sao Paulo no interrumpió el suministro de agua, pero bajó sustancialmente las presiones en la tubería para propiciar una reducción de consumo. Bolivia sufrió la peor sequía de los últimos 25 años, a consecuencia más de 100 barrios de La Paz se sometieron a un programa de racionamiento.

Puerto Rico sufrió una sequía extrema en el 2015. La situación fue tan crítica que en el Área Metropolitana de San Juan se implantó un programa de interrupciones en el suministro de agua progresivamente más severo, que abarcaron cuatro meses. En la zona sur se interrumpió el suministro de agua por 24 horas en días alternos el cual duró

dos años (Soderberg, Crisis del Agua en Puerto Rico: Causas, Agravantes y Alternativas, 2016).

1.2.6. Aumento de frecuencia e intensidad de huracanes y tormentas tropicales

Otro efecto del cambio climático es el aumento de huracanes y tormentas tropicales, los cuales causan interrupciones en el servicio de energía eléctrica, ejemplo de este fue durante el paso del huracán María en Puerto Rico, donde se interrumpió el servicio de energía eléctrica y se restableció el suministro de agua al 50 % de la población en una semana, y se tardó seis meses en restablecerse en todo el País (Soderberg, Impacto Ambiental del Huracán María, Ecuambiente, 2019).

Asimismo los huracanes y tormentas tropicales afectan la integridad de las represas, especialmente si las represas son de tierra, como es el caso de Puerto Rico donde el huracán María afectó la integridad estructural de la represa del embalse Guajataca. Como resultado de este impacto, la cantidad de agua almacenada en el embalse se ha reducido, como lo indico la Federal Emergency Management Agency (FEMA 2017). En el 2019 ocurrió una sequía en la zona donde está ubicada la represa, por lo que se llevó a cabo una interrupción del suministro de agua a 200,000 personas en días alternos.

1.3. CALIDAD DE AGUA

El cambio climático no sólo reducirá la cantidad de agua disponible en América Latina y el Caribe (ALC), sino también impactará significativamente la calidad del agua en los temas que se indican a continuación.

1.3.1. Emigración por aumento de nivel del mar.

La emigración de personas que habiten en zonas costeras se realizará debido al aumento del nivel del mar, las cuales se instalarán principalmente en comunidades que por lo general carecen de sistemas para el recogido y tratamiento de aguas residuales, suficientes para manejar un aumento de dichas aguas residuales. El Banco Mundial estima que en el 2050, 17 millones de habitantes de ALC tendrán que emigrar debido al cambio climático (Groundswell 2018).

La inmigración masiva provocará descargas adicionales de aguas residuales sin tratar a los cuerpos de agua, debido a que la infraestructura existente de alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales probablemente no tengan la capacidad residual para transportar y tratar el volumen adicional de aguas residuales generadas.

El aumento del nivel del mar destruirá plantas de tratamiento de aguas residuales y estaciones de bombeo de aguas residuales que están ubicadas muy cerca de la costa. En el caso de Puerto Rico la infraestructura que brinda el 70% de tratamiento a las aguas residuales, se encuentran en la costa. Por lo tanto, si no se toman medidas las aguas residuales sin tratar afectarán la calidad de las aguas de las playas y otras aguas costaneras (Soderberg, Impacto del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos de Puerto Rico, 2019).

1.3.2. Aumento de patógenos

El aumento en temperatura propiciará un incremento de la frecuencia e intensidad de brotes masivos de algas y patógenos en los cuerpos de agua dulce y las aguas costaneras (ONU, PNUMA, Perspectivas Global sobre el Medio Ambiente Mundial: ALC 2017; Journal of the American Water Works Association, agosto 2018).

En los Estados Unidos ya se ha registrado un aumento de estos incidentes, ya que en varias ocasiones la calidad del agua que produce la planta potabilizadora ha excedido las guías de la Organización Mundial de la Salud y las guías de la Agencia Federal de Protección Ambiental de los Estados Unidos para este tipo de toxinas derivadas de los brotes algales. (Upflow, AWWA, febrero 2015).

El aumento de temperatura propicia el crecimiento de patógenos en los cuerpos de agua dulce y las aguas costaneras y el crecimiento desmedido de algas marinas (sargazo), la cual invade las playas de la Península de Yucatán en México, el estado de Florida de los EE.UU y las Antillas Caribeñas, afectando el turismo (ONU, PNUMA, Perspectivas sobre el Medio Ambiente Mundial: ALC 2017).

1.3.3. Aumento de frecuencia e intensidad de sequías

Las sequías impactan negativamente la calidad del agua debido a que cuando los niveles de agua bajan su extracción en estas condiciones contiene concentraciones altas de sólidos suspendidos, materia orgánica y nutrientes. A veces puede contener manganeso que afecta el color del agua, por lo que las comunidades y empresas tienen que invertir más fondos en sustancias químicas para atender la situación.

Si se bajan las presiones en el sistema de distribución, o se llega al extremo de interrumpir el suministro de agua por intervalos fijos, la calidad del agua suministrada se deteriora por las infiltraciones a la tubería y el arrastre de sedimentos y el desprendimiento de láminas biológicas en el interior de los tubos cuando se recibe el primer flujo de agua al reanudarse el suministro (Journal AWWA, agosto 2019).

1.3.4. Aumento de la frecuencia e intensidad de incendios forestales y de pastizales

Los incendios forestales y de pastizales que ocurren aguas arriba de las tomas de las plantas potabilizadoras, afectan la calidad del agua que llega a esas plantas, ya que destruyen la vegetación, exponiendo el terreno a un mayor grado de erosión, aumentando el nivel de la turbiedad del agua que llega a la planta (Upflow, AWWA, mayo 2014). Además, estudios realizados en Estados Unidos revelan que el agua que corre por el terreno donde ocurrió el incendio contiene niveles mucho más altos de nitratos, amonio y carbón orgánico disuelto, que aumentan las concentraciones de sulfatos, óxidos de calcio, magnesio, cloruros y carbonatos de sodio. Se estima que el tiempo en restablecer la calidad del agua que se registraba antes del incendio es de cuatro a ocho años (Journal of the American Water Works Association, julio 2018).

1.3.5. Aumento de frecuencia e intensidad de lluvias torrenciales, huracanes y tormentas tropicales

Las lluvias torrenciales aumentan la erosión de los terrenos y el arrastre de sedimentos, causando un aumento en la turbiedad del agua que llega a las plantas potabilizadoras, así mismo las lluvias torrenciales pueden llegar a desbordar los pozos sépticos y otros sistemas de tratamiento para residencias individuales, así como el desborde de registros del alcantarillado sanitario en el área urbana debido a interconexiones indebidas entre el sistema de alcantarillado pluvial al sistema de alcantarillado sanitario y la conexión de los desagües de los techos de residencias al alcantarillado pluvial. En ambos casos, esas descargas incrementan los niveles de patógenos, nutrientes y materia orgánica en los cuerpos de agua aledaños, incluyendo fuentes de abasto de agua potable. Además, estas aguas contaminadas pueden llegar a la costa donde pueden deteriorar la calidad del agua en las playas al punto de representar un riesgo a la salud de los bañistas.

Los países de ALC que son vulnerables a huracanes y tormentas tropicales como México y los países centroamericanos, sufrirán un impacto en la calidad del agua, tanto en el agua de consumo como en los cuerpos de agua, ya que estos fenómenos causan interrupciones en el servicio de energía eléctrica, lo que, a su vez interrumpe el suministro de agua. La duración de la interrupción varía por cada incidente. (Journal AWWA, agosto 2019). Además, cuando se reanuda el servicio, ese primer chorro de agua re suspende el sedimento acumulado en el fondo de los tubos y desprende láminas de crecimiento biológico aumentando la turbiedad, los sedimentos y el nivel de patógenos dentro de los tubos, situación que afectan negativamente la calidad del agua que recibe la población.

Debido a la destrucción masiva de árboles, el aumento de turbiedad en los cuerpos de agua persiste, en un menor grado, muchos años después del paso del huracán o la tormenta tropical.

Otro impacto de los huracanes y tormentas tropicales es el deterioro de la calidad del agua en los cuerpos de agua dulce y aguas costaneras porque las plantas de tratamiento de aguas residuales y las estaciones de bombeo no pueden operar por falta de electricidad. Además, inundaciones y deslaves destruyen algunas plantas de tratamiento de aguas residuales y estaciones de bombeo.

1.4. IMPACTOS COLATERALES

1.4.1. Impacto sobre la generación de electricidad

De acuerdo con la ONU, el sector energético en ALC es particularmente vulnerable al cambio climático (ONU, PNUMA, Perspectivas sobre Medio Ambiente Mundial: ALC 2017).

En América Latina el 53% de la energía eléctrica es generada por plantas hidroeléctricas (ONU, PNUMA, Perspectiva sobre el Medio Ambiente Mundial: ALC 2010). La generación de electricidad por instalaciones hidroeléctricas también se reducirá por la merma de lluvia en algunos países. Se anticipa merma de lluvia en las

Antillas Caribeñas, Ecuador, costa del Pacífico de Costa Rica, el centro de México, el Corredor Seco en Centroamérica, parte de Brasil, entre otros. (ONU, Perspectiva sobre el Medio Ambiente Mundial: ALC 2017). El aumento de la frecuencia e intensidad de sequías; la sedimentación de lagos y embalses debido a lluvias intensas; el aumento en la demanda de agua para sistemas de enfriamiento comerciales e industriales debido al aumento en la temperatura; el aumento en la demanda de agua para satisfacer las necesidades de la población que emigrará de zonas afectadas por el aumento en el nivel del mar y las zonas afectadas por escasez de agua; y el aumento en la demanda de agua para riego agrícola debido al aumento en temperatura también reducirán la generación de electricidad en instalaciones hidroeléctricas.

También se afectará la generación de electricidad en plantas termoeléctricas. Que se encuentren cerca de la costa debido al aumento pronosticado del nivel del mar y el aumento de la intensidad de la marejada ciclónica, propiciando el abandono de estas plantas. En el caso de las plantas termoeléctricas en el interior de países, requerirán un gran caudal de agua para su sistema de enfriamiento el cual esta reducido y por tanto, en muchos casos la producción de electricidad disminuirá. La situación podría ser aún peor durante días de temperaturas altas, ya que aumenta la demanda de electricidad y aumenta la temperatura del agua del río o lago (ONU, PNUMA, Perspectiva sobre el Medio Ambiente Mundial: ALC 2017).

1.4.2. Impacto sobre la alimentación

De acuerdo al IPCC, este fenómeno reducirá la producción de alimentos a través de cuatro vertientes: reducción en el rendimiento de cultivos, reducción de tierras de cultivo, salinización de aguas subterráneas y reducción de la frecuencia de las cosechas (IPCC, Quinto Informe de Evaluación sobre Cambio Climático, 2014) Además, de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), se necesitará un aumento de 80% de agua de riego para alimentar la población mundial proyectada para el 2050.

Del 2013 al 2015, el Corredor Seco de Centroamérica que incluye porciones de Guatemala, Honduras, Nicaragua, El Salvador y Panamá, sufrió una sequía severa. Estos terrenos son eminentemente agrícolas, Por lo tanto, se redujeron drásticamente las cosechas, al punto que alrededor de 900,000 personas padecieron de hambre (ONU, PNUMA, Perspectiva Global del Medio Ambiente: ALC 2017)

La Sociedad de Estudios Medioambientales de la Universidad de Brown realizó un estudio de ocho años en el estado de Mato Grosso de Brasil. Donde se observó que el aumento de 1°C en la temperatura reduciría en un 13% el rendimiento de soja y maíz. Además, el estudio pronostica que se reducirá el área dedicada a la agricultura porque en ciertos terrenos el cultivo no sería rentable. Finalmente, el estudio indica que posiblemente los agricultores eliminen una segunda cosecha en una misma temporada, como se realiza en estos momentos, si el clima empeora.

Por otra parte, los acuíferos de las Antillas Caribeñas, Centroamérica y los países al norte de Suramérica ya están sobre explotados (ONU, PNUMA, Perspectivas del Medio Ambiente Mundial: ALC 2003), aunado a esta situación, la intrusión de agua salada que

ya está ocurriendo, por el aumento en el nivel del mar, reducirá el agua disponible para el riego agrícola en áreas que dependan de acuíferos afectados por agua de mar, reduciendo el agua que pueda utilizarse para el riego agrícola en el interior de los países.

La FAO pronostica los siguientes impactos del cambio climático sobre la agricultura en ALC para el 2050 (FAO, Retos del Cambio Climático para la Agricultura de ALC, 2018):

- Reducción en el rendimiento del cultivo de maíz en un 10%
- Disminución del rendimiento del cultivo de arroz, en Brasil y Cuba.
- Disminución del rendimiento de frijoles en el noreste de Brasil, Guatemala, Honduras, Nicaragua y el sur de México.
- No se podrá cultivar caña de azúcar en el suroeste de México, el norte de Venezuela y algunas regiones de Brasil.
- Merma del rendimiento del cultivo de caña de azúcar en Perú, Bolivia y el norte de México.
- Merma del rendimiento del cultivo de trigo en Argentina, Uruguay y Brasil.
- Disminución drásticamente el cultivo de la variedad robusta de café en Centroamérica y gran parte de Brasil
- Merma del cultivo de la variedad arábica de café en los andes peruanos, ecuatorianos y colombianos.

1.4.3. Impacto sobre la salud pública

El impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos tendrá serias implicaciones sobre la salud pública, debido a la reducción de presión del flujo de agua o interrupción del servicio, lo que propiciará la entrada de agua contaminada a la tubería y el cloro residual no será suficiente para eliminar los patógenos que entran al sistema cuando se reanude el flujo y/o suministro de agua, de esta manera los habitantes estarán expuestos a enfermedades si se toman el agua o cocinan con esta. (Journal AWWA, agosto 2019)

Además, las lluvias intensas contienen patógenos resistentes al cloro como el *cryptosporidium* y la *ciclospora*, por lo que, estos patógenos pueden entrar al sistema de distribución y a los hogares. Por otro parte el aumento de la temperatura propiciará el crecimiento y propagación del cólera y otras enfermedades causadas por otros patógenos en las aguas costaneras (ONU, PNUMA, Perspectivas sobre el Medio Ambiente Mundial: ALC 2017) representando una amenaza a la salud de los bañistas y a las personas que consuman bivalvos cultivados en estas aguas contaminadas.

1.5. ALTERNATIVAS PARA ENFRENTAR EL DESAFÍO

Aunque el impacto del cambio climático sobre la seguridad hídrica es significativo, se pueden tomar algunas medidas para mitigar los efectos adversos que describimos

anteriormente. A continuación se incluye una lista de algunas de las alternativas que podemos implantar:

- Implantar un programa educativo dirigido a todos los niveles de la sociedad sobre la importancia del recurso agua y las medidas de conservación de agua que debemos tomar en nuestros hogares y lugares de trabajo, al igual que medidas para proteger los recursos de agua.
- Reducir la pérdida de agua en los sistemas de distribución de agua potable.
- Implantar programas de conservación de agua en las residencias utilizando enseres y artefactos de uso eficiente del agua.
- Requerir a los hoteles, hospitales, edificios comerciales, edificios de oficina y a las industrias que implanten programas de conservación de agua.
- Reducir la pérdida en los canales de riego agrícola.
- Utilizar el sistema de riego por goteo, y cuando esto no sea compatible con algún cultivo, utilizar el sistema de riego denominado “de pivote central”.
- Reusar de forma segura las aguas residuales tratadas.
- Requerir la captura y uso de agua de lluvia en las residencias individuales, edificios de apartamentos, centros comerciales, hoteles e industrias.
- Implantar un programa agresivo de reforestación, especialmente aguas arriba de lagos y embalses.
- Implantar incentivos para el establecimiento en propiedad privada de zonas vegetativas cercanas a quebradas, ríos, lagos y embalses para que actúen como amortiguadores para el arrastre de sedimento.
- Cuando sea viable, construir futuros embalses fuera del cauce del río para evitar la acumulación de sedimentos luego de episodios de lluvias intensas.
- Implantar un programa de control de erosión en el sector agrícola.
- Cosechar café “a la sombra” en vez de predios desprovistos de árboles.
- Requerir medidas de control de erosión y arrastre de sedimentos para todo proyecto de construcción.
- Recargar acuíferos con aguas usadas tratadas al nivel necesario para estos fines.
- Establecer barreras hídricas con la inyección de aguas usadas tratadas en acuíferos para proteger a las aguas subterráneas de la intrusión de agua salada.
- Proteger áreas de recarga de acuíferos.
- Prevenir escapes de tanques soterrados.
- Evitar que los líquidos de lixiviación de los sitios de disposición final y rellenos sanitarios lleguen a los acuíferos mediante la instalación de membranas.
- Obligar a los dueños de campos de golf a utilizar aguas residuales tratada para su riego.

1.6. REFERENCIAS

- El Nuevo Día, agosto 2019
- Efectos del Cambio Climático en las Costas, CEPAL 2012Le Chevallier, et al, 1981
- FEMA 2017
- FAO, Retos del Cambio Climático para la Agricultura de ALC, 2018
- Groundswell 2018
- IPCC, Cuarto Informe de Evaluación sobre Cambio Climático 2007
- IPCC, Quinto Informe de Evaluación sobre Cambio Climático, 2014
- Journal AWWA, agosto 2019
- Journal of the American Water Works Association (AWWA), agosto 2018
- Journal of the American Water Works Association, julio 2018
- ONU, PNUMA, Perspectivas del Medio Ambiente Mundial: ALC 2003
- ONU, PNUMA, Perspectiva sobre el Medio Ambiente Mundial: ALC 2010
- ONU, PNUMA, Perspectivas sobre Medio Ambiente Mundial: ALC 2017
- Opflow, AWWA, mayo 2014
- Opflow, AWWA, febrero 2015
- NASA 2019
- Science Advances 2019
- Soderberg, Situación del Recurso Agua en Puerto Rico, 2018
- Soderberg, Crisis del Agua en Puerto Rico: Causas, Agravantes y Alternativas, 2016
- Soderberg, Impacto Ambiental del Huracán María, Ecuambiente, 2019
- Stern, Nicolas, The Economic Impacts of Climate Change, 2006
- Stern, Nicolas, The Economics of Climate Change 2007

CAPITULO 2. FENÓMENOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS: INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Edilberto Guevara Pérez, PhD
Venezuela

2.1 INTRODUCCIÓN

Los fenómenos naturales climatológicos, tectónicos, volcánicos y los inducidos por el hombre como los incendios, causan efectos que pueden convertirse en verdaderos desastres, en cualquier época o región donde se presenten, al dañar sensiblemente la vida económica, social y productiva del país. El desastre, es una situación resultante en una sociedad o comunidad, después de que ha sido azotada por algún fenómeno natural, llámese: terremoto, inundación, huracán, vulcanismo, deslizamiento u otro; o por acciones erróneas del hombre, como los incendios y explosiones. En ambos casos, el desastre se puede medir en términos de daños y pérdidas materiales, económicas; o en lesiones y pérdidas de vidas humanas. Estos fenómenos originados por la naturaleza en algunos casos y otros por el hombre, han ocurrido a través de la historia de la humanidad y seguirán ocurriendo en cualquier parte del mundo.

Los desastres tendrán lógicamente efectos sobre el hombre mismo, sobre sus bienes y sobre la naturaleza, según las diversas características geológicas, geográficas, socioeconómicas y culturales de las regiones donde ocurran.

Los desastres se pueden clasificar de acuerdo con diferentes modalidades; así, tenemos:

Por su aparición: 1) Súbitos, o fenómenos que ocurren sorpresivamente y de manera inmediata, por ejemplo, terremotos, avalanchas, algunas inundaciones, tsunamis (maremotos); 2) mediatos, cuando se desarrollan en forma más lenta y es factible predecirlos, por ejemplo, huracanes, sequías erupciones volcánicas y otros.

Por su duración: 1) Corta a mediana duración, como los terremotos, huracanes, erupciones volcánicas, tsunamis, avalanchas y hundimientos; 2) larga duración, como las sequías, epidemias e inundaciones.

Por su origen: 1) Inducidos o tecnológicos, son aquellos que fundamentalmente se desarrollan por error del hombre o abuso que éste hace en la explotación de los recursos que le proporciona la naturaleza; 2) naturales, son los que se originan por la acción espontánea de la vida misma de la naturaleza o de la evolución del planeta, y pueden ser de origen geológico, como aquellos que fundamentalmente se dan por

movimiento de placas tectónicas, por vulcanismo, por ruptura de la corteza terrestre o por irregularidades en el relieve y la conformación del subsuelo; y de origen meteorológico, que se dan a partir de fenómenos que se generan en la atmósfera y se manifiestan a través de vientos, precipitaciones, tormentas eléctricas, inundaciones y sequías. Estos dos últimos tipos ocasionan lo que se conoce como el riesgo hidrometeorológico.

En este trabajo se va a presentar, en forma general una descripción del origen de los desastres y los impactos ambientales que ocasionan. En particular, se discutirá el riesgo hidrometeorológico concerniente a los eventos extremos; es decir, inundaciones y sequías.

2.2 DESCRIPCIÓN DE CATÁSTROFES HISTÓRICAS

2.2.1 Tsunamis

La génesis de los tsunamis o maremotos está en un movimiento brusco en el fondo del océano o en cualquier acuífero que provoca la formación de olas en todas direcciones. Se originan por eventos bruscos y violentos: un sismo, una erupción volcánica submarina o un depósito de material en el océano; un derrumbe de grandes proporciones en montañas contiguas a la costa que dan origen a un gran movimiento de una columna de agua, de millones de toneladas de peso, en sentido vertical ascendente. Las olas resultantes se desplazan con velocidades de 700 km/h y más y pueden extenderse hasta los confines de la cuenca oceánica, a miles de kilómetros.

Hay muchos casos de tsunamis, como el ocasionado por el terremoto de que destruyó Lisboa en 1755 con olas de tsunami en las costas de Portugal, España y Marruecos. En Arica, Perú, en 1868, después de un terremoto, se formaron olas de más de 10 m y se presentaron incluso en Nueva Zelanda y Hawai. La erupción del Krakatoa en 1883, al originar finalmente una caldera acompañada de una gigantesca explosión, provocó uno de los tsunamis más poderosos que se han observado, con olas de más de 30 m y causante de decenas de miles de muertos. Es una de las mayores catástrofes del siglo XIX. En 1952 un tsunami afectó las costas de Kamchatka y las islas Kuriles, debido a un terremoto cuyo epicentro se localizó en la trinchera vecina. La primera ola llegó 45 minutos después del terremoto. Alaska fue seriamente afectada en su porción sur-oriental en 1958. El tsunami se debió a un terremoto que a su vez provocó gigantescos deslizamientos de nieve, hielo y rocas, que al depositarse en el océano provocaron una ola que alcanzó una altura entre 17 y 35 metros. Uno de los tsunamis más destructores es el que resultó del terremoto de Chile en 1960; las olas, con velocidades de hasta 700 km/h, se difundieron por todo el Pacífico y no sólo asolaron las costas chilenas, sino también las islas Hawai y las costas de Japón. El 26 de diciembre de 2004, la Humanidad fue golpeada por la catástrofe natural más grande, mortífera y desastrosa, un terremoto de una magnitud de 9.3 que golpeó la costa oeste de Sumatra, creando un

tsunami masivo que terminó con las vidas de más de 250.000 personas en 14 países diferentes, siendo los más afectados Indonesia, Sri Lanka, India y Tailandia. El 16 de septiembre del 2015 un sismo Mw 8.3 en Chile ocasionando un tsunami, afectando, principalmente, las ciudades y localidades costeras de la región de Coquimbo, la inundación producto del tsunami alcanzó alturas cercanas a los cuatro metros, generando daños considerables en las construcciones de material liviano próximas a la línea costera.

2.2.2 Ciclones /Huracanes /Tifones

Los ciclones tropicales, también conocidos como huracanes y tifones, ocurren entre los paralelos 5 y 25 de los hemisferios norte y sur. Estos se forman cuando el aire de una porción de la atmósfera se vuelve más ligero que el que lo rodea; como resultado, asciende y se forma lo que se conoce como una depresión; el aire cálido liviano se eleva sobre el frío. En el frente cálido se forma un cordón de nubes que provocan lluvias, y en ocasiones, tormentas. Los ciclones pueden alcanzar dimensiones de hasta 500 km de diámetro y producen vientos con movimiento en espiral de hasta 250-350 km/h. Cuando las velocidades de los vientos son menores de 118 km/h se trata de una tormenta tropical, misma que puede transformarse en ciclón y viceversa. Son comunes en el sur y sureste asiático, en las costas de la India, Bangla Desh, Pakistán, Indochina, lo mismo que en el Golfo de México y el Caribe. Casos: 1987: *Eugenio* afectó las costas del Pacífico mexicano desde Michoacán a Nayarit; 1988: Gilbert en México; 1990: *Mike* en Manila, dejando a su paso cuantiosos daños materiales; 1998: Mitch en Centroamérica; 1999: Fenómeno Vargas en Venezuela; 2004: Florida, Haití y República Dominicana. En Centroamérica y el Caribe, no pocas veces las inundaciones son causadas por huracanes, de los que la región ha enfrentado un promedio de 17 anuales en los últimos 20 años. De ellos, 23 han alcanzado categoría 5, la máxima en la escala Saffir-Simpson. También el huracán María Puerto Rico 2017, afectó de gran manera la mayor parte de la isla impactando la infraestructura y la calidad de vida de todos los puertorriqueños

2.2.3 Inundaciones

Las inundaciones ocurren cuando las crecidas de los ríos sobrepasan la capacidad de transporte de los cauces. La dramática realidad de las crecidas y sus consecuencias se pueden rastrear en el pasado hasta los propios inicios de las civilizaciones. Desde entonces el hombre ha luchado contra los efectos de las crecidas y ha aprovechado los recursos hídricos desarrollando diferentes tipos de infraestructura. El hecho es que la sociedad y las crecidas han convivido en una estrecha interrelación de causa-efecto, y lo seguirán haciendo mientras las presiones demográficas por espacios sigan arrinconando a los flujos de las corrientes en cauces cada vez más estrechos. En relación con las crecidas, es necesario abordar los siguientes aspectos:

- Visión histórica de la relación entre la sociedad y las crecidas
- Evolución de los métodos para el análisis de las crecidas y su control

- Procedimientos de caracterización de las crecidas
- Medidas de control
- Procedimientos para el pronóstico y la predicción de las crecidas

El Fenómeno ENSO (El Niño-South Oscillation), los huracanes y tormentas tropicales son la causa común de las grandes inundaciones. Todos los años provocan daños materiales y víctimas, principalmente en los trópicos. Como datos históricos de las inundaciones se pueden mencionar:

- 1927: La mayor inundación del río Misisipi, a raíz de la cual, se construyeron numerosas obras de ingeniería (presas y canales principalmente) para tratar de evitar o reducir los efectos de otra inundación gigantesca, que ocurrió en 1973, causando numerosos daños, pero reducidos considerablemente. Se ha estimado que, de no haberse construido la infraestructura de protección, el agua hubiera superado los niveles de 1927. A raíz de este proyecto de obras hidráulicas se origina el concepto económico de relación beneficio/costo.
- 1974: Nor- Occidente de Australia causada por un huracán. En sólo dos días la precipitación pluvial fue de 480 mm. Se inundaron totalmente varias ciudades como Breensben, Santa Lucía, Broom y Darwin, entre otras.
- Inundaciones en Europa Occidental (Alemania - Dresden, Francia, España, etc.)
- Inundaciones periódicas en Asia: India, Bagladesh, Indonesia, Filipinas, China, Japón y países de la región latinoamericana y el Caribe.
- Inundaciones prácticamente anuales provocadas por la ocurrencia de huracanes en Centroamérica, Colombia, México, Venezuela.

2.2.4 Movimientos masivos

Los movimientos masivos son causados por el exceso de lluvias en suelos geológicamente predispuestos y de elevadas pendientes. Hay casos históricos de la ocurrencia de este fenómeno, como los que se indican a continuación:

- En el Pamir (Asia Central), en 1911, a causa de un sismo se produjo en deslizamiento de unos 2.5 kilómetros cúbicos de rocas.
- En 1964, a raíz de un terremoto en Alaska, se desprendió una cresta montañosa que cayó y rodó sobre un glaciar al que desprendió, formando una masa deslizante de 23 millones de metros cúbicos.
- El terremoto de Hansú, China, en 1920, provocó el movimiento de masas de loess (material depositado por el viento que constituye rocas de poca consolidación) que dio lugar a una catástrofe en la que perecieron 200 000 personas. Algo semejante ocurrió en 1556.
- Entre las mayores tragedias se cuentan las corrientes de lodo que cubrieron Yungay, Perú, en 1962 y 1970, y Armero, Colombia, en 1985.

- En julio de 1987 una zona turística, La Valtellina, entre Bérgamo y los Alpes suizos, fue cubierta por corrientes de lodo, cuando fuertes lluvias provocaron el desborde de dos ríos que subieron su nivel 4 m y derrumbes en las laderas.
- En septiembre de 1987 lluvias intensas provocaron el desborde del río Limón en Maracay, Venezuela.
- En febrero de 1988 hubo lluvias torrenciales y corrientes de lodo en Brasil, lo mismo que en Perú, Ecuador y Colombia.
- 1999: En Venezuela deslizamientos masivos de la cordillera de la costa originaron inundaciones que provocaron decenas de miles de muertos, millones de dólares de pérdidas materiales y decenas de miles de damnificados.
- 2017: Perú, debido al denominado Niño Costero, ocurrieron inmensos daños por deslizamiento en varias regiones de Perú.

2.3 LA SOCIEDAD Y LAS CRECIDAS O INUNDACIONES

La sociedad se define como un grupo de personas que comparten las versátiles infraestructuras de la civilización. La mayoría de estas infraestructuras incluyen varios sistemas relacionados con los recursos de agua o infraestructuras en las cuatro grandes áreas de actividades que tienen que ver con los recursos hidráulicos: desarrollo de recursos hidráulicos; conservación de los recursos hidráulicos; protección de los recursos hidráulicos; control de los efectos dañinos del agua. Esta última actividad incluye también las actividades de afrontar las crecidas, puesto que ellas son la causa principal de los efectos dañinos inducidos por el agua en la sociedad.

2.3.1 Inundación o crecida

Las crecidas se definen como flujos o niveles extremadamente altos de los ríos, donde el agua inunda las planicies adyacentes al sobrepasar la capacidad de transporte natural de los cauces. Las inundaciones también ocurren cuando los niveles de lagos, embalses, acuíferos y estuarios exceden algún valor crítico inundando el valle adyacente; cuando el mar sube hacia la costa por sobre su nivel medio.

En muchos países y regiones del mundo, las inundaciones representan los peligros más costosos en términos de pérdidas materiales y de vidas humanas. Estos peligros son medidos por la probabilidad de ocurrencia de sus valores dañinos, concebida generalmente como riesgo de la inundación; y por su impacto en la sociedad concebido como pérdida de vidas y daño material a la sociedad.

La sociedad tiene que confrontar las crecidas. Las experiencias desde el pasado distante, durante períodos en los cuales el hombre ha tenido que interrelacionarse de uno u otro modo con las crecidas, muestra claramente que los peligros y los impactos generados por las inundaciones, pueden ser atenuados o aliviados más no eliminados totalmente o evitados. Esto significa que la probabilidad del valor de la crecida puede

reducirse tanto como el aspecto económico o las políticas de control lo puedan justificar; pero dicha probabilidad nunca puede ser igual a cero. Sólo si se aplicara el concepto de “*Riesgo de crecida uno en un millón*” (Concepto Borel) se pueden despreciar (dejar de considerar) las crecidas extremadamente raras. Esos flujos se conciben usualmente como eventos posibles; sin embargo, con probabilidad de ocurrencia cercana a cero. “*Luchar contra las crecidas*” o “*Confrontar las Crecidas*” se define como todas aquellas medidas con las políticas y estrategias necesarias de implementación, que la sociedad puede aplicar para aliviar los impactos de los eventos de crecidas. Puede incluir como alternativa “el no tomar ninguna medida”, es decir, “hacer nada” excepto aprender del fenómeno y ajustarse a mismo. El término *Lucha Contra Crecidas* o *Confrontar Crecidas*, puede ser concebido como sinónimo de los términos comúnmente usados, “Control de Crecidas”, “Mitigación de Crecidas” y “Defensa contra Crecidas”.

En general, los desastres ocasionados por las crecidas pueden clasificarse en tres tipos principales:

- Inundaciones naturales: Son las que ocurren sin considerar si existe ocupación humana en la cuenca del río.
- Inundaciones naturales modificadas: Son las que incluyen aquellos eventos afectados por la intervención del hombre, resultando en una atenuación o un empeoramiento de daños en comparación con los eventos netamente naturales.
- Los desastres totalmente generados o inducidos por el hombre. Incluye las inundaciones causadas por la ruptura de estructuras construidas por la sociedad (incluyendo errores de diseño), como diques, muros, presas; o errores en la operación, como mala gestión de las compuertas o del equipo del control de inundación.

También existe una relación entre las crecidas y el tamaño del área de captación de la cuenca. Mientras más pequeña es el área de captación de la cuenca, más grande es la lluvia media unitaria de una duración y probabilidad de excedencia dadas, sobre el área de la cuenca; y más grande la respuesta de la cuenca. Mientras más intensa es la precipitación media sobre un valor determinado, más pequeña es la duración de la lluvia y menor la cobertura sobre el área. Mientras más pequeña es el área de la cuenca, más rápido es la concentración del flujo de la crecida y más rápido pasa por una estación determinada. Efectos similares produce la pendiente media de la cuenca y del cauce: a medida que se incrementa la pendiente más rápida es la concentración y el tiempo de viaje (disminuye el tiempo de concentración y el tiempo de viaje).

En conclusión, con las otras condiciones de la cuenca iguales y constantes, la duración media de una crecida de una determinada probabilidad de excedencia se incrementa con el incremento del tamaño de la cuenca.

Las características generales señaladas de las crecidas, como una función del tamaño de la cuenca de captación, juegan un rol muy importante en la predicción y pronóstico, alarma, impacto, defensa y en la confrontación general de las crecidas.

2.3.2 Principales problemas ocasionados por las crecidas y soluciones

El conjunto de interacciones entre la sociedad y las crecidas puede clasificarse en tres (3) grupos básicos:

- Aprender de las crecidas como principal información de entrada en el diseño de cualquier política o estrategia para hacer frente a las inundaciones, incluyendo la alternativa de “*Hacer Nada*”, excepto la disseminación de la información entre los usuarios de las planicies de inundación y autoridades y personas relacionadas.
- Estimar los impactos de las inundaciones de crecidas anteriores, o síntesis del potencial de daños futuros bajo condiciones más recientes o condiciones futuras de tenencia y vida en las planicies de inundación.
- Confrontar o luchar contra las crecidas para minimizar los impactos, mediante juzgamiento del valor, políticas específicas sobre crecidas, u optimización económica.

Estos tres grupos de problemas constituyen la preocupación de varios tipos de profesionales relacionados con las crecidas en busca de posibles soluciones. Los hidrólogos se preocupan principalmente del conocimiento sobre las características de la inundación; los ingenieros de recursos hidráulicos se interesan en la información sobre los impactos de las crecidas; los geógrafos, economistas y sociólogos se interesan en la información sobre impactos de la inundación, y el comportamiento de la gente y de las instituciones durante y después del evento; y los planificadores de recursos hídricos y los ambientalistas de todos las formaciones, han estado a la vanguardia de los esfuerzos para hacer frente a las inundaciones.

2.3.4 Impactos de las crecidas y mitigación

Los impactos de las crecidas pueden ser negativos y positivos. Los impactos negativos normalmente se manifiestan como pérdidas de vidas de seres humanos y animales, pérdidas de bienes materiales y de infraestructura, pérdidas de terrenos y del valor agrícola de los suelos, pérdidas económicas indirectas en bienes y servicios, sedimentación o relleno de cauces y embalses, propagación de enfermedades hídricas. Entre los impactos positivos están acumulación de humedad en el perfil del suelo durante la inundación, fuente de nutrientes para la agricultura, lucha contra las plagas, lavado de suelos salinos y llenado de embalses y almacenamiento de excedentes

Para evaluar los daños de las crecidas existen normas y técnicas bien establecidas. El propósito básico es determinar la relación entre el daño y las características de la

crecida, siendo el modelo más simple la relación entre las pérdidas económicas y el caudal de la crecida. Los modelos más complejos involucran todas las características principales de las crecidas y de los daños; así, la relación entre la FDF de las crecidas y los daños y el caudal de la crecida, permite calcular la FDF de los daños anuales ocasionados por las crecidas. Esta curva FDF, o en su defecto gráficos más complejos que se puedan establecer, se constituyen en parámetros de entrada para los modelos de análisis de las medidas alternativas para confrontar las crecidas. La estimación de daños de crecidas en áreas urbanas puede constituir una tarea muy tediosa y costosa.

Las tecnologías usadas a lo largo de la historia para atenuar los impactos indeseables de las crecidas y beneficiarse de los impactos favorables han sido una función directa del nivel, fortaleza y estado de las civilizaciones. El problema de las crecidas permanecerá siempre en la agenda de los problemas por resolver de las sociedades, mientras ellas existan.

Las acciones relacionadas con las crecidas se centran en tres grupos principales: defensa de la vida, de las tierras y de las propiedades contra los efectos dañinos de las crecidas; aprendiendo a convivir con las crecidas a un mínimo costo, y aprender a extraer ventaja eficiente de los beneficios potenciales que podrían traer las crecidas; y atenuar los picos o disminuir los volúmenes de las crecientes mediante las medidas de control físicas intensivas y extensivas. Este tercer grupo de acciones significan en la práctica una disminución de la probabilidad de ocurrencia del pico de una crecida dada, del volumen o de alguna otra característica; es decir, disminuir los riesgos, básicamente debido al incremento de las inversiones y de la ocupación demográfica de las planicies de inundación y áreas adyacentes a los ríos, y al esfuerzo de los gobiernos para incrementar el estándar promedio de vida de sus pueblos mediante una mejor protección de las planicies de inundación ocupadas.

Las medidas que se usan para enfrentar las crecidas se clasifican en cuatro grupos de alternativas: 1) “Hacer Nada” o “No Hacer”, ya sea estructuralmente hablando, o desde el punto de vista administrativo. Esto significa inducir a gente para que se adapte o ajuste al fenómeno de las crecidas de un modo conocido o nuevo. Ejemplo: dedicar las planicies inundables principalmente para agricultura o las planicies son inundadas por las crecidas periódicas que depositan nutrientes y dejan humedad en el suelo para su uso posterior en la época seca. 2) Implementar sólo las medidas No-Estructurales para aliviar los impactos de las crecidas. Esto se lleva a cabo principalmente regulando el uso de las planicies de inundación y otras áreas propensas a ser inundadas, desarrollando defensas contra crecidas; y cuando sea factible, utilizando los seguros para distribuir el costo de los riesgos. 3) Implementar solamente medidas estructurales de control de las crecidas; las cuales incluyen medidas físicas intensivas y extensivas con la finalidad de cambiar el ambiente de generación de la crecida. Entre las medidas intensivas están los embalses, muros de contención, diques, defensas ribereñas, canalizaciones, rectificación de cauces; y entre las extensivas, medidas de protección y conservación, extendidas sobre toda la cuenca de captación del río. 4) Utilizar una combinación de medidas estructurales y no-estructurales.

La disponibilidad de un gran número de medidas para hacer frente a las crecidas o inundaciones conduce a su clasificación como reactiva y proactivas; las primeras son aquellas que se improvisan frente a la ocurrencia repentina de una crecida, como una reacción al fenómeno; las medidas pro-activas son aquellas que se planifican y se preparan con anticipación, como defensas y actividades de evacuación antes de la ocurrencia de la crecida.

2.4 SEQUÍAS

2.4.1 Definición y características de las sequías

La sequía se define como déficit de lluvias durante un período de tiempo prolongado, una temporada, uno o varios años, en relación con la media estadística multianual de la región en cuestión. La falta de lluvia ocasiona un suministro insuficiente de agua para las plantas, los animales y los seres humanos. Por su parte, la sequía puede resultar en otros desastres, como inseguridad alimentaria, hambrunas, malnutrición epidemias. A veces, las comunidades rurales pueden hacer frente a uno o dos períodos sucesivos de escasez de lluvias y de pérdida de cultivos o ganado; la situación se convierte en una emergencia cuando las personas agotan todos sus recursos adquisitivos, reservas de alimentos, bienes y mecanismos habituales para salir adelante.

La sequía es un fenómeno engañoso. Al contrario que las inundaciones, evoluciona a lo largo del tiempo y destruye gradualmente la región afectada. En los casos agudos, la sequía puede durar muchos años y causar efectos devastadores en la agricultura y las reservas de agua.

Entre los desastres resultantes de la sequía está la desertificación, que es el proceso por el cual tierras productivas o habitables se hacen cada vez más áridas y pierden la capacidad para mantener vegetación, convirtiéndose finalmente en desierto. Con frecuencia es la causa de desastres a largo plazo.

Otros impactos de las sequías son la pérdida de cultivos, escasez de alimentos, malnutrición y hambre. La escasez de alimentos es el resultado de una reducción anormal del rendimiento de los cultivos, de manera que la cosecha no es suficiente para cubrir las necesidades nutricionales o económicas de la comunidad. Como consecuencia de la escasez de alimentos inducida por la sequía, muchas personas, en particular mujeres embarazadas, madres lactantes, bebés y niños, carecen del equilibrio de nutrientes adecuado para la salud y el bienestar. Una hambruna es una escasez de alimentos de carácter catastrófico que afecta a una gran cantidad de personas, ocasionada por factores climáticos, medioambientales o socioeconómicos. Las hambrunas pueden cobrarse víctimas mortales, potenciar la aparición de enfermedades y dar lugar a desplazamientos en gran escala. Por su parte, una alimentación insuficiente reduce la resistencia de las personas a enfermedades e incrementa el

riesgo de brotes de enfermedades que pueden prevenirse. La escasez de agua, que obliga a las personas a utilizar agua contaminada, favorece la propagación de enfermedades hídricas. Los problemas de seguridad alimentaria pueden inducir a las personas a desplazarse a otros lugares; por ejemplo, migración de las poblaciones rurales hacia las afueras de las ciudades en busca de mejores condiciones de vida. Pero también pueden formarse grandes asentamientos de personas desplazadas, en los que aumenta la probabilidad de que se produzcan brotes de enfermedades. La migración masiva desde regiones afectadas por sequía puede ocasionar tensiones en las comunidades de acogida, al ocasionar una competencia por los recursos naturales escasos, como la tierra o el agua.

2.4.2. Tipos de sequía

a) Sequía meteorológica. Ocurre cuando se produce una escasez continuada de las precipitaciones; es la que da origen a los otros tipos de sequía y normalmente suele afectar a zonas de gran extensión. El origen de la escasez de precipitaciones está relacionado con el comportamiento global del sistema océano-atmósfera, donde influyen tanto factores naturales como antrópicos, como la deforestación o el incremento de los gases de efecto invernadero. La definición de sequía meteorológica está vinculada a una región específica, ya que las condiciones atmosféricas que producen déficit de precipitación son muy variables de una región a otra; además, este tipo de sequía también puede implicar temperaturas más altas, vientos de fuerte intensidad, humedad relativa baja, incremento de la evapotranspiración, menor cobertura de nubes y mayor insolación; todo ello puede manifestarse como reducciones en las tasas de infiltración, menor escorrentía, reducción en la percolación profunda y menor recarga de las aguas subterráneas. En muchos casos el indicador primario de disponibilidad de agua es la precipitación.

b) Sequía hidrológica: Se manifiesta como la ocurrencia de periodos de caudales de los cursos de agua o de volúmenes embalsados por debajo de lo normal; por tanto, una disminución en las disponibilidades de aguas superficiales y subterráneas en un sistema de gestión durante un plazo temporal dado, respecto a los valores medios, que puede impedir cubrir las demandas de agua al cien por cien. A diferencia de la sequía agrícola, que tiene lugar poco tiempo después de la meteorológica, la sequía hidrológica puede demorarse durante meses o algún año desde el inicio de la escasez pluviométrica o si las lluvias retornan en poco tiempo, no llegar a manifestarse.

c) Sequía agrícola: Es el déficit de humedad en la zona radicular para satisfacer las necesidades de un cultivo en un lugar en una época determinada. Dado que la relación agua-suelo-planta es diferente para cada cultivo, e incluso puede variar a lo largo del crecimiento de una misma planta, no es posible establecer umbrales de sequía agrícola válidos ni tan siquiera para un área geográfica. En zonas de cultivos de secano, la sequía agrícola va ligada a la sequía meteorológica con un pequeño desfase temporal dependiente de la capacidad de retención de humedad del suelo. En zonas irrigadas la sequía agrícola está más vinculada a la sequía hidrológica.

d) Sequía socioeconómica: Es el impacto de la escasez de agua a las personas y a la actividad económica como consecuencia de la sequía. No es necesario que se

produzca una restricción del suministro de agua, basta con que algún sector económico se vea afectado por la escasez hídrica con consecuencias económicas desfavorables. La creciente presión de la actividad humana sobre el recurso hídricos hace que cada vez sea mayor la incidencia de la sequía socioeconómica, con pérdidas económicas crecientes.

e) Sequía, aridez y escasez: La sequía, definida como anomalía temporal de precipitación o caudal natural, puede originar, o no, una situación de insuficiencia en los suministros de agua, en función del nivel de demanda de agua existente en el área y de las características, en general, de los sistemas de explotación del recurso. La escasez representa una situación permanente de déficit en relación con la demanda de agua en un sistema de recursos de ámbito regional, caracterizado, bien por un clima árido o bien por un rápido crecimiento de las demandas consuntivas. Debido a que la sequía es una anomalía natural transitoria, suficientemente prolongada, debe diferenciarse de la aridez, que es una situación estructural natural de una región y por tanto permanente. Aún en estas circunstancias no debería haber déficit si los sistemas de explotación estuvieran adecuadamente diseñados y explotados y las demandas se mantuvieran en límites razonables, acordes con las características climáticas de la región. Para ello se requiere actuaciones planificadas a medio y largo plazo.

2.4.3. Análisis de las sequías

El análisis de sequías debe orientarse a resolver las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia de un período seco de cierta duración, dependiente de un período húmedo?
2. ¿Cuál es la esperanza matemática del número de períodos secos de determinada duración que pueden ocurrir en un intervalo de n días?
3. ¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia de períodos secos con duración igual o mayor que d .

El problema se puede enfocar desde diversos puntos de vista:

- a. Investigación del origen del fenómeno, es decir de los parámetros hidrometeorológicos que lo ocasionan: Precipitación, evaporación, infiltración, etc. Se usan procedimientos probabilísticos y determinísticos, así como relaciones funcionales entre los eventos de interés y los parámetros que los ocasionan. Normalmente se determinan índices de sequías, especialmente para las meteorológicas, tal como los índices de Palmer y Mc. Kee.
- b. Análisis de los parámetros hidrometeorológicos de salida, tal como flujo base, recarga, almacenamiento, y relación de éstos con el caudal mínimo dentro del sistema de drenaje de la cuenca. Se usan modelos determinísticos (recesión). Para sequías agrícolas e hidrológicas.
- c. Análisis de la cadena de fenómenos del ciclo hidrológico que conducen a la ocurrencia de las sequías: de los parámetros hidrometeorológicos, las aguas

subterráneas como recarga de los caudales mínimos. Para sequías hidrológicas y agrícolas.

d. Análisis de los caudales mínimos sin considerar su origen, mediante métodos estadísticos y estocásticos. Para sequías hidrológicas.

Los procedimientos determinísticos planteados en los puntos a, b, c, permiten en general, una predicción directa del caudal mínimo en el futuro inmediato. Dependiendo del número de parámetros que se involucren, estos métodos son muy complejos. La discusión que sigue se limita a las técnicas estadísticas y estocásticas del punto d, las que se orientan a la determinación de la probabilidad de ocurrencia de un evento de determinada magnitud. Esto permite una predicción a largo plazo, sin embargo, casi siempre en el sentido de que un evento mínimo ocurra dentro de un período determinado.

En cuanto a las técnicas estadísticas, en la mayoría de los casos sólo se dispone de registros hidrométricos de corta duración. La planificación de las obras hidráulicas y la administración de los recursos hídricos requieren del conocimiento de eventos mínimos de baja probabilidad de ocurrencia, los cuales no se encuentran en los períodos de registro. Una de las alternativas para estimar dichos eventos viene a ser el uso de los modelos de valores extremos. Esta técnica asume que la serie de caudales mínimos disponibles constituye una muestra de una población desconocida formada por todos los valores extremos pasados y futuros. Por lo tanto, parte del criterio que dicha muestra, siempre que sea de una longitud suficiente, posee la misma función de distribución de frecuencia que la población a la que se supone pertenecer.

De ese modo, se adapta una distribución teórica a la empírica de la serie observada, la misma que se usa a posteriori para extrapolaciones a eventos de probabilidades deseadas, de excedencia o no excedencia. Otra condición básica para el uso de este tipo de modelos viene a ser la independencia de los valores observados; lo cual se cumple normalmente en series anuales o bianuales (estacionales). La independencia y homogeneidad de la serie se prueba mediante diferentes procedimientos.

2.5 REFERENCIAS

- CONAVI (1999): "Documento sinóptico de los análisis, conclusiones y recomendaciones de la comisión de expertos en hidráulica, geotecnia, estructuras y urbanismo sobre el fenómeno Vargas". Comisión convocado por el Ministerio de Infraestructura. Venezuela.
- CUTTER, S. EDS (1994): "Environmental Risk and Hazards". Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall.
- Dautant, R. y E. Guevara (2013): "Diagnóstico de los Recursos Hídricos en Venezuela (Capítulo 19). En: Mahlkecht, J y Pastén Zapata E. (Coords.).

Diagnóstico de los Recursos Hídricos en América Latina. Primera Edición. PEARSON EDUCATION, México 2013. Centro del Agua para América Latina y El Caribe (CAALCA). Instituto Tecnológico de Monterrey, México. ISBN e-Book: 978-607-32-1727-9. Páginas: 824

- FEMA (2002): "Principles of Emergency Management". Emergency Management Institute, National Emergency Training Center. Federal Emergency Management Agency, USA.
- Guevara, E. (2019): "Gestión Integrada de Recursos Hídricos por Cuenca y Cultura del Agua". Autoridad Nacional del Agua. Lima. Perú. 855 pgs. ISBN: 978-612-4273-27-8. URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4302>
- Guevara, E. (2015): "Métodos para el análisis de variables hidrológicas y ambientales". Autoridad Nacional del Agua. Lima Perú. ISBN: 978-612-4273-018. Pgs. 420. URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/3940>.
- Guevara, E. (2013): "Ética y Educación Ambiental: Una herramienta para la Cultura del Agua". Autoridad Nacional del Agua. Lima. Perú. ISBN: 978-612-46552-3-4. URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/432>.
- Guevara E. (2012). "El agua y su relación con el hombre a lo largo de la historia". En: Serie Estudios Académicos; Libro No. 1: Epistemática Crítica del Saber Académico, Capítulo 6. Coordinación de Investigación de UNELLEZ-VIPI. ISBN: 978-980-248-176-7. Pp. 190-232.
- Guevara, E. (2010): Gerencia de desastres. APUC, Universidad de Carabobo, Venezuela. 239 pgs. ISBN: 978-980-12-4239-0.
- Guevara, E. (2008): "Educación para afrontar desastres". Dirección General de Postgrado. Vicerrectorado Académicos, Universidad de Carabobo. ISBN: 978 – 980 – 123214 – 8. Depósito Legal: lf55320083702050.
- Guevara, E. y H. Cartaya. (2004): "Hidrología Ambiental". Facultad de Ingeniería. UC. Depto de Publicaciones. 498 pgs. ISBN: 980-6259-13-0.
- Guevara, E. (1983): "Modelos estocásticos para la simulación de series hidrológicas". CIDITA. Series Hidrología No. H - 13. Mérida, Venezuela. 156 pgs.
- McKee, TB; Doesken, NJ; Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Applied Climatology. s.l., s.e. p. 17-22.
- Naciones Unidas (1994). Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación, en particular en África. Naciones Unidas, París, London, 66 pp.
- Nuñez, J.; D. Rivera, R. Oyarzún and J.L. Arumí (2014). On the use of Standardized Drought Indices under decadal climate variability: Critical assessment and drought policy implications. Journal of Hydrology 517: 458–470.
- Organización Meteorológica Mundial (2005). Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros. OMM-N° 1006, Ginebra, Suiza, 28 pp.
- ONU (1994): "Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación en los Países afectados por Sequía Grave o desertificación, en Particular en África". Doc. A/AC.241/15/Rev 17. París.

- PALMER, W. (1965): "Meteorological drought". Research Paper N° 45. U.S. DA.US.
- Paredes Trejo F., y E. Guevara Pérez (2012): Propuesta metodológica para usar redes bayesianas en la alerta temprana de sequías meteorológicas extremas: Aplicación en Venezuela. Editorial Académica Española ISBN: 978-3-659-06313-8.
- UNDRO (1979): "Natural Disasters and Vulnerability Analysis". Report of Experts Europea, Barcelona.

CAPITULO 3: LA SEGURIDAD HIDRICA DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL POTENCIAL DESTRUCTIVO DEL AGUA

Dr. Gian Franco Morassutti F.
Venezuela.

3.1 INTRODUCCION

El concepto de seguridad hídrica tiene un gran atractivo, ya que expresa el objetivo principal de la gestión del agua, que es mejorar la calidad de vida de todos. Es un concepto que proporciona a los políticos, líderes empresariales, profesionales del agua y muchas disciplinas y de diversos grupos diferentes, un lenguaje común.

En términos generales, la seguridad hídrica se ha definido como *“la provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua”*. (Grey y Sadoff 2007 en TEC N°14 - GWP 2010 - www.gwp.org/es/GWP-Sud-America).

Un estudio de “Global Water Partnership” (2010), nos muestra que uno de los mayores retos al cual se enfrenta la eficiente gestión del agua asociada a la seguridad hídrica es su inminente adaptación al cambio climático, el cual ha sido reconocido como un verdadero problema a escala global y no tan sólo como una simple percepción.

Y es precisamente a través del agua y los fenómenos meteorológicos asociados como se manifiesta el cambio climático, véase las grandes sequías, tormentas, inusuales cambios de temperatura, inundaciones, etc. Es pues, un gran desafío para la sociedad del siglo XXI no sólo diagnosticar los fenómenos que pueden llegarle a afectar, sino sobre todo diseñar planes de acción y gestión de los recursos hídricos para disminuir de alguna manera los efectos y adaptarnos a ésta nueva realidad. (www.iagua.es)

La seguridad hídrica busca precisamente éste objetivo, aunque ha sido erróneamente definida tan sólo como el acceso seguro y suficiente de recursos- Sin embargo, el concepto de seguridad hídrica es más amplio, ya que debe ser entendida como: ***“la capacidad de aprovechar el potencial productivo del agua y limitar su potencial destructivo”***, definición que se acopla a la de Grey & Sadoff (2007), como la *“provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua”*. (www.iagua.es)

El presente artículo pretende visualizar la importancia de la seguridad hídrica desde el punto de vista de las acciones a tomar para mitigar el potencial destructivo de las aguas en áreas urbanas, áreas agrícolas, así como la protección de la vialidad urbana e interurbana.

Para poder cumplir con los objetivos básicos y complementarios para mitigar o limitar el potencial destructivo de las aguas, se requiere el cumplimiento de los factores que se indican a continuación:

- **Fortalecimiento y capacidad institucional de los órganos gestores (Gobiernos Centrales, Regionales, Municipales y Entes Rectores).**
- **Infraestructura natural y artificial para el almacenamiento y el transporte del agua.**
- **Cultura Hidráulica.**

Sin embargo, su aplicación y desarrollo se traduce en cuantiosas inversiones, que si bien es cierto pueden llegar a ser costosas, es preferible invertir en este tipo de proyectos y su posterior construcción y mantenimiento, que usar los mismos o mayores recursos para remediar los efectos negativos de desastres naturales relacionados con el agua tales como desbordamientos e inundaciones.

En tal sentido, la inversión en investigación y desarrollo de proyectos asociados a la seguridad hídrica es absolutamente necesaria y en especial, debe ser permanente, pues ésta debe abarcar los conceptos de seguridad hídrica como el acceso a agua potable segura, la recolección y tratamiento de las aguas servidas, así como los sistemas de drenajes, los cuales están ligados al control y protección contra desbordamientos e inundaciones, sin olvidar el control de erosión y arrastre de sedimentos.

Para lograr la seguridad hídrica es necesario que ocurran cambios fundamentales en los valores, creencias, percepciones y posiciones políticas, no sólo en las instituciones de gestión del agua, sino también en las instituciones políticas y en cada una de las partes interesadas. El progreso puede llegar a ser lento y las situaciones complejas, pero no hay realmente otra alternativa para el futuro de la humanidad que un mundo con seguridad hídrica.

El crecimiento demográfico ocurrido en la mayoría de las ciudades alrededor del mundo ha traído como consecuencia, en algunas regiones geográficas, un crecimiento desordenado de las ciudades, siendo este más evidente en los amplios sectores periféricos ocupados por actores de bajos recursos económicos.

Cuando la expansión urbana y la planificación del uso del suelo no se realizan en forma conjunta, se produce el crecimiento anárquico de la urbe, normalmente acompañado por una falta de infraestructura que multiplica las dificultades para lograr un drenaje eficiente.

La carencia de una planificación integral de la expansión urbana y de la planificación del uso del suelo produjeron, en forma conjunta, un crecimiento anárquico de las superficies impermeables y la consecuente interferencia y/o modificación de los escurrimientos superficiales, lo que su vez, sin una sincronía con una gestión eficiente del drenaje de las aguas pluviales, genera inundaciones que tienen un importante impacto sobre los habitantes y la economía de un país.

3.2 LA SEGURIDAD HÍDRICA PARA MITIGAR EL POTENCIAL DESTRUCTIVO DE LAS AGUAS.

Lograr la seguridad hídrica, desde el punto de vista de las acciones a tomar para poder limitar el potencial destructivo de las aguas, debe tener como objetivo básico mitigar los daños a las personas y sus bienes, evitar daños a zonas agrícolas; preservar los medios de producción, preservar la integridad estructural de las vías de comunicación, así como también otros objetivos complementarios que están relacionados con los anteriores.

3.2.1 Conceptos generales.

Los sistemas de drenajes son estructuras hidráulicas que funcionan a presión atmosférica y por gravedad. Sólo en ocasiones especiales estos sistemas utilizan tuberías trabajando a presión o por algún sistema de bombeo. Normalmente están constituidas por conductos de sección circular, cuadrada, rectangular o compuesta, la mayoría de las veces enterrados bajo las vías públicas. También están constituidos por canales abiertos de sección rectangular o trapecial.

La red de alcantarillado se considera un servicio básico, sin embargo, la cobertura de estas redes en las ciudades de países en desarrollo es ínfima en relación con la cobertura de las redes de agua potable. Esto genera importantes problemas sanitarios. Durante mucho tiempo, la preocupación de las autoridades municipales o regionales ha estado más ocupada en construir redes de agua potable (como servicio fundamental), dejando para un futuro indefinido la construcción de los sistemas de recolección aguas servidas y en especial de las aguas pluviales.

Un sistema de drenaje deficiente conduce a riesgo de inundación a una ciudad, una zona agrícola o una vialidad. Otro peligro que induce un sistema de drenajes es la

contaminación, pues no existe un control de los materiales que son desechados constantemente en las diversas estructuras que lo componen.

Actualmente resulta difícil ignorar los problemas de inundaciones, así como la necesidad de proteger carreteras, vías férreas, áreas agrícolas, construcciones industriales y fundamentalmente los centros poblados, siempre teniendo presente que el curso de agua natural es una entidad viviente en continuo desarrollo que se deberá proteger en todo lo posible.

En el desarrollo de la infraestructura de los sistemas de drenajes y saneamiento de una zona urbana se pueden identificar varias fases. En primer lugar, la tendencia fue a canalizar y controlar las aguas servidas o residuales; posteriormente, a encauzar las aguas de escorrentía provenientes de las precipitaciones, bajo la premisa de limitar el riesgo de sufrir inundaciones. Todo ello ha dado lugar a los sistemas convencionales de saneamiento y drenaje de las ciudades, basados en colectores cuyo objetivo primordial es evacuar lo antes posible las escorrentías generadas por las precipitaciones hacia el medio receptor. Una vez resueltos estos problemas, aparece otro, el de la calidad de las escorrentías urbanas en el momento de la ocurrencia de las precipitaciones y el impacto que sus vertidos generan en el medio receptor. En efecto, actualmente existe la conciencia de que las aguas de lluvias, lejos de ser limpias, son una fuente importante de contaminación. (Perales, et al. 2.000)

También es preciso indicar que, el continuo y rápido crecimiento de zonas urbanas, lo cual conlleva a una progresiva impermeabilización del suelo, ha ido alterando el ciclo hidrológico natural. Es por ello que cada vez se requieren colectores de mayor capacidad hidráulica, más largos y una imperiosa necesidad de depurar un agua que originalmente era limpia. La necesidad de afrontar la gestión de aguas pluviales desde una perspectiva diferente a la convencional, que combine aspectos hidrológicos, medioambientales y sociales, está llevando a un aumento progresivo a nivel mundial del uso de Sistema Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), también conocidos como BMP's (Best Managment Practice). La filosofía de los SUDS es reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación antrópica. Su objetivo es minimizar los impactos del desarrollo urbanístico en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía, así como maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de la actuación. (Perales, et al. 2.000)

3.2.2 Tipos de sistemas de drenajes.

Sobre la base de lo descrito en el aparte anterior, es imprescindible iniciar con los conceptos fundamentales de los diversos sistemas de drenajes convencionales que se conocen, como los son: el Drenaje Urbano, el Drenaje Agrícola y el Drenaje Vial. Todos ellos tienen definidos el objetivo básico y el objetivo complementario.

Se entenderá por sistema de drenaje urbano un conjunto de acciones, materiales o no, destinadas a evitar, en la medida de lo posible, que las aguas pluviales causen daños a las personas o a las propiedades en las ciudades u obstaculicen el normal desenvolvimiento de la vida urbana; es decir, dirigidas al logro de los objetivos establecidos. (Bolinaga, J.J., 1.979).

Dentro del término “aguas pluviales”, se deben incluir no solamente las originadas de las precipitaciones que caen directamente sobre las áreas urbanizadas que conforman la población, sino también aquellas que se precipiten sobre otras áreas, pero que luego escurren a través de la ciudad, bien sea por cauces naturales, conductos artificiales, o simplemente a lo largo de su superficie.

En el caso del drenaje urbano, aunque el objetivo primordial sea siempre garantizar la vida de los habitantes, no se puede olvidar los enormes costos implícitos en la pérdida de bienes y propiedades, o en la interrupción de actividades, propias de la población, por inmersión, sumersión o arrastre.

Cuando se trata de drenaje agrícola, el objetivo primordial debe ser garantizar la producción. La situación de ser analizada para diferentes épocas del año pues no se van a generar las mismas pérdidas si la inundación ocurre durante la época de siembra que cuando se cosecha, o si es durante el crecimiento de las plantas.

Aunque el principal objetivo del drenaje vial es garantizar la integridad de la vía, tampoco deben olvidarse los costos asociados a la reparación de ésta, ni los problemas ocasionados por las interrupciones y demoras de tránsito, ni los peligros que crean las aguas para la circulación.

Sobre la base de lo anteriormente descrito, existen dos objetivos fundamentales para el Drenaje Urbano, para el Drenaje Agrícola y para el Drenaje Vial, los cuales se resumen en la Tabla 3.1.

TABLA 3.1.
OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS DE DRENAJES

TIPO	OBJETIVO BÁSICO	OBJETIVO COMPLEMENTARIO
URBANO	Evitar al máximo posible los daños que las aguas de lluvias puedan ocasionar a las personas y a las propiedades en el medio urbano.	Garantizar el normal desenvolvimiento de la vida diaria en las poblaciones, permitiendo un apropiado tráfico de personas y vehículos durante la ocurrencia de precipitaciones.
AGRÍCOLA	Preservar los medios de producción agrícola: es decir, evitar daños irreparables (destrucción) a las plantaciones, a la estructura del suelo e instalaciones permanentes (sistemas de riesgo, vialidad, sitios, etc.).	Garantizar que el proceso de producción no se vea entorpecido en ninguna de sus fases.

VIAL	Preservar la integridad estructural de la vía y la unidad del sistema vial.	Garantizar el apropiado tránsito de vehículos durante las precipitaciones.
-------------	---	--

Es preciso indicar que, en el caso del drenaje vial, aunque su principal objetivo es garantizar la integridad de la vía, nunca se puede perder de vista la interacción del drenaje vial con el drenaje urbano. Por ejemplo, si con el diseño propuesto para una estructura hidráulica de una vialidad, como lo puede ser un puente o una alcantarilla sobre un cauce natural, se logra garantizar la integridad de la vía, pero esta garantía va en perjuicio del drenaje urbano, que pudieran ser los eventuales efectos de desbordes del cauce sobre las márgenes urbanizadas, el objetivo principal del drenaje urbano quedaría vulnerado, por lo que sería indispensable y obligatorio un rediseño de las obras viales, ya que no debe haber ningún objetivo primordial que no sea la de garantizar los objetivos del drenaje urbano, es decir, evitar al máximo posible los daños que las aguas de lluvias puedan ocasionar a las personas y a las propiedades en el medio urbano, así como garantizar el normal desenvolvimiento de la vida diaria en las poblaciones, permitiendo un apropiado tráfico de personas y vehículos durante la ocurrencia de precipitaciones.

3.2.3 Sistema de drenaje urbano sostenible.

Una vez conceptualizados los sistemas de drenaje convencionales y en vista de las nuevas tendencias a nivel mundial, es preciso describir los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) son aquellos elementos participantes en el drenaje de las ciudades que, además de reducir el caudal producido por la lluvia, disminuyen los contaminantes arrastrados por la escorrentía. Al igual que los sistemas de drenaje convencional, su principal función es la de evitar el riesgo de inundaciones, pero además tiene otras, como es impedir la contaminación de las aguas, minimizar los costos de inversión en infraestructura hidráulica de drenajes y mejorar el paisaje urbano. (Perales, 2008).

Muchos de los SUDS son Infraestructuras Verdes, que se caracterizan por el empleo de la vegetación como elemento de control y regulación del agua pluvial, bajo la premisa de tratar de imitar procesos naturales para infiltrar, evapotranspirar, o reutilizar el agua pluvial donde se genera. EPA (2002).

Estas infraestructuras tienen varias ventajas, como la mejora estética del paisaje urbano. Este planteamiento indica que, para lograr la mejor solución de un Sistema de Drenajes Sostenible SUDS, debe tener la participación de los profesionales responsables (ingenieros, arquitectos, paisajistas, etc.) de un idóneo desarrollo urbano o de una exitosa remodelación urbana, bajo la premisa del mejoramiento de la calidad

de vida de los habitantes y del paisaje urbano, todo ello con lo que se podría denominar una Ingeniería Naturalística.

Es preciso indicar que en la ejecución de estos sistemas y en especial su funcionamiento, no son sólo partícipes proyectistas, técnicos y personal de la administración, sino que también los son los ciudadanos.

El empleo de estos sistemas se está generalizando en todo el mundo. Una vez resueltos los problemas básicos de drenaje urbano y depuración de aguas, el siguiente paso es optimizar este drenaje mediante el empleo de SUDS.

Es esencial que todos aquellos profesionales de las diversas especialidades que estén involucrados en un desarrollo urbano o vial, que hasta hoy observaban el drenaje como un **“elemento más”** dentro del desarrollo urbano o vial, entiendan que el sistema de drenaje es un **“elemento esencial”** para el control de las aguas pluviales, pero en especial para la protección de vidas, bienes y enseres.



Figura 3.1. Esquema de remodelación urbana, integrando los sectores urbanos existentes y el nuevo desarrollo. (www.adad.com).

De igual forma se debe entender que el sistema de drenaje es un elemento esencial para el diseño del desarrollo urbano o vial, y en especial en las eventuales remodelaciones urbanas. El Sistema de Drenaje debe formar parte integral de un desarrollo urbano sustentable.

En tal sentido, es importante destacar que para un correcto e idóneo diseño del desarrollo urbano o de una remodelación urbana, en varias ocasiones, el Sistema de Drenaje puede ser el elemento que genere las pautas fundamentales para establecer, por una parte, la planimetría, con la finalidad de verificar y decidir la mejor ocupación de áreas no vulnerables a eventuales desbordes o inundaciones. Por otra parte, el

Sistema de drenaje generará las curvas para la altimetría, con la finalidad de verificar y definir, por una parte las cotas mínimas de los asentamientos urbanos, así como también la definición de cotas y pendientes de las diferentes estructuras que conformarán el sistema de drenaje, de modo que esta práctica de diseño debe conllevar a la búsqueda de la excelencia del desarrollo urbano para una significativa contribución al bienestar social y para el ambiental.

3.2.4 Inundaciones y crecidas.

Las inundaciones son un evento natural y recurrente directamente relacionadas a las crecidas de un río, son fenómenos naturales que se presentan con la conjugación de una serie de factores meteorológicos, climáticos, topográficos y geomorfológicos favorecedores del escurrimiento de las aguas. Cuando estas aguas se concentran en un cauce, incrementan sus niveles y aumentan sus velocidades, con el consiguiente acarreo de material de fondo y en suspensión, lo que trae como resultado que se sobrepase la capacidad hidráulica de los cauces de los ríos. Lo anterior provoca que un determinado cauce natural desborde las aguas de escorrentía sobre las márgenes de su cauce e inunde las tierras adyacentes.

La frecuencia de las inundaciones depende del clima, del material de las riberas del río y la pendiente del cauce natural. En los países tropicales, en los que existe dos estaciones climatológicas, una época lluviosa (Mayo – Noviembre) y una época seca (Diciembre – Abril), los eventuales desbordes e inundaciones generalmente ocurren en la época lluviosa cuando ocurre un evento extraordinario de precipitación. En otras latitudes, donde existen las cuatro estaciones (Primavera, Verano, Otoño e Invierno), los desbordes e inundaciones pueden ser ocasionados por las eventuales precipitaciones extraordinarias, así como también como resultado del deshielo.

Conceptualmente, la planicie inundable se refiere a las áreas adyacentes a los cauces naturales, que son periódicamente ocupadas por las aguas desbordadas por las aguas de ellos. (Bolinaga, J.J., 1.979).

Las áreas inundables son aquellas superficies diferentes de las planicies inundables, que pueden ser ocupadas durante un tiempo prudencialmente largo, por aguas provenientes del escurrimiento superficial. Dentro de estas áreas se incluyen las de aguas estancadas, que son aquellas zonas que, naturalmente o por la acción del hombre, no tienen salida para las aguas. (Bolinaga, J.J., 1.979).

Las inundaciones suelen ser descritas en términos de su frecuencia estadística. Una *"inundación de 100 años"* o *"una planicie inundable de 100 años"* se refiere a un evento o un área expuesta a un 1 % de probabilidad estadística de que ocurra una inundación de un determinado volumen en cualquier año dado. Este concepto no significa que una inundación ocurrirá sólo una vez cada 100 años. Si es que ocurre o no en un determinado año no cambia el hecho de que siempre hay una probabilidad del 1 % de

que ocurra algo similar al año siguiente. Dado que las planicies inundables pueden ser cartografiadas, los linderos de una inundación de 100 años se utilizan comúnmente en programas de mitigación de riesgos de planicies inundables, para identificar las áreas donde el riesgo es significativo. De igual forma se puede seleccionar cualquier otra frecuencia estadística para un evento de inundación, según el grado de riesgo que se decida evaluar, como por ejemplo: planicies inundables para 5 años, 20 años, 50 años, o 500 años de período de retorno.

La Figura 3.2 representa esquemáticamente la sección transversal típica de un río, compuesta por el cauce natural y las márgenes adyacentes, las cuales pueden ser planicies inundables. En la figura se aprecia la intervención que sufre en sus márgenes, eventualmente inundables, así como la afectación de las zonas urbanas en el momento de las crecidas.

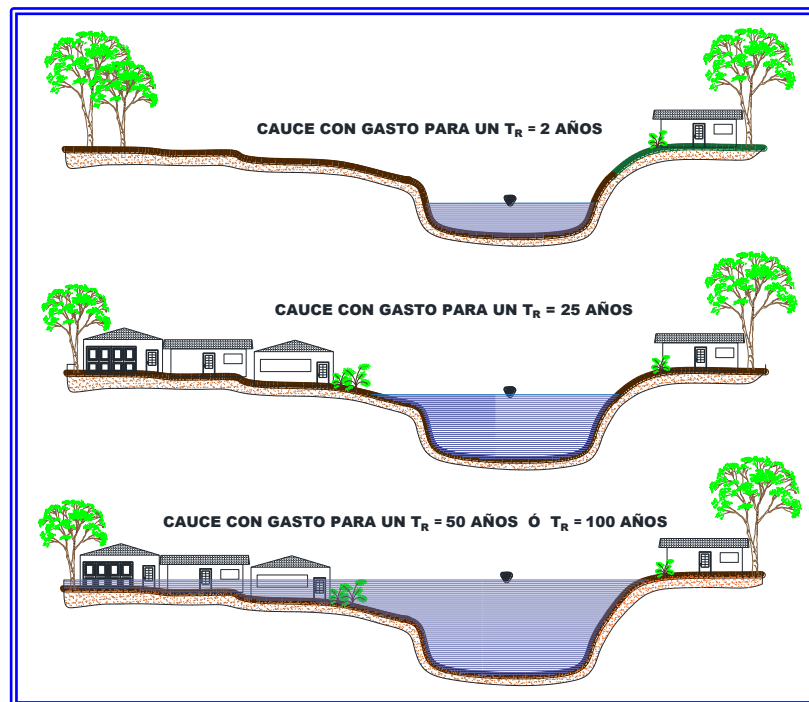


Figura 3.2 Visualización de la ocupación de las planicies por la intervención urbana y su afectación en el momento de las crecidas y los desbordes sobre las márgenes adyacentes al cauce natural. (Imagen del Autor).



Foto 3.3. Vista aérea de la Ciudad de Piura, Perú, luego del desborde del Río Piura en Marzo de 2017. Obsérvese áreas urbanas y agrícolas afectadas por los desbordes y las inundaciones. (Foto Diario El Tiempo - Perú).



Foto 3.4. Vista de desborde la Quebrada Pajaritos sobre la Autopista del Este, Caracas, Venezuela. (Foto Diario El Universal - Venezuela)



Foto 3.5. Vista de inundación por lluvias ocurridas en la Ciudad de Valencia en Abril de 2016. Calle 5 de Julio con Av. Paseo Cabriales, Valencia, Venezuela. (Foto Diario Notitarde – Venezuela).



Foto 3.6. Vista de inundación por lluvias ocurridas en la Ciudad de Valencia en Abril de 2016. Zona Industrial de Valencia, Venezuela. (Foto Diario Notitarde - Venezuela).

3.2.5 Control de inundaciones.

Si se consideran las inundaciones originadas por el desborde de los cauces fluviales, las medidas de control de inundaciones suelen ser muy costosas y en general, las medidas que se toman sólo reducen el riesgo de inundación hasta ciertos límites, el

cual permite el mejor aprovechamiento de las zonas expuestas a las eventuales inundaciones. Los métodos más comúnmente empleados son: la construcción de embalses, presas y diques para la amortiguación de las crecidas; la canalización del cauce natural para aumentar la capacidad hidráulica y la construcción de estructuras de derivación con el fin de dirigir las aguas lejos de las zonas sujetas a una mayor protección frente a las crecidas o avenidas.

La problemática de las inundaciones no siempre es salvable mediante la realización de obras estructurales, hay casos que requieren considerar medidas preventivas en la planificación y el desarrollo futuro de un desarrollo urbano, agrícola e inclusive para el trazado de una vialidad.

La determinación de la recurrencia de inundación para una determinada zona, es una información muy útil a considerar para el desarrollo de estrategias de control de crecidas. Los métodos de planificación se obtienen mediante la modelización de las inundaciones y la realización de mapas en los que se presenten las zonas afectadas por crecidas máximas y sus periodos de recurrencia. Una planificación del desarrollo urbanístico a corto o largo plazo en base al riesgo de inundación característico de cada zona, se plantea como el método más económico, que en combinación con los anteriores puede llegar a ser enormemente eficaz.

En la Figura 3.7 se muestra un Mapa de Amenaza de un área urbana, en el cual se identifican las áreas de mayor peligro de inundación. Estos mapas de amenaza se pueden elaborar para eventos de escurrimientos de aguas pluviales, así como para eventos con flujo de detritos.

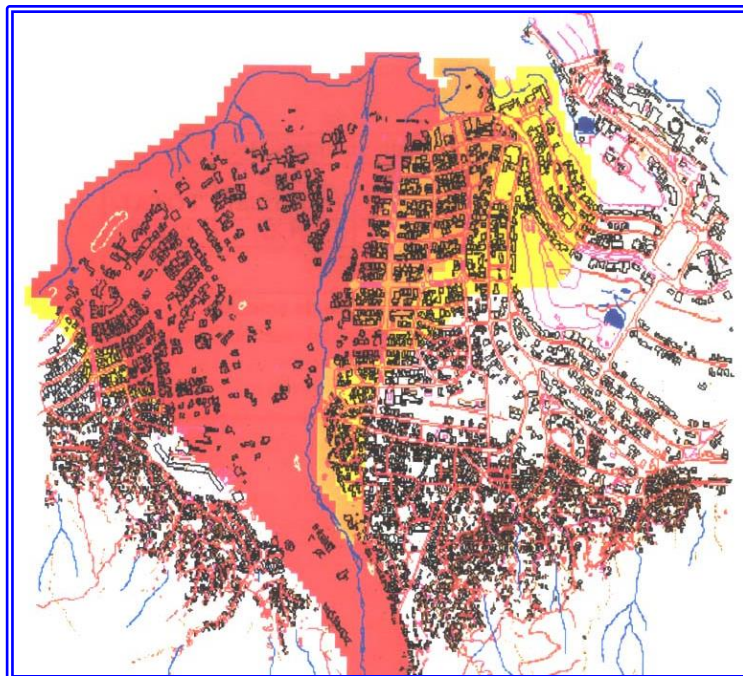


Figura 3.7. Mapa de Amenaza por efecto de desbordes del Rio Cerro Grande, Estado Vargas, Venezuela.

Debido a las condiciones geográficas o geomorfológicas, la mayoría de los países latinoamericanos, así como en otras partes del mundo, existen zonas que experimentan el embate de una gran variedad de fenómenos naturales, entre ellas fenómenos hidrometeorológicos, tales como ciclones tropicales, frentes fríos, entrada de aire húmedo, los cuales pueden ocasionar lluvias intensas que pueden provocar inundaciones, deslaves u otros efectos de esta naturaleza.

Por otro lado, también enfrenta problemas que se podrían denominar no estructurales, tales como: **ambientales**, entre los que se pueden citar la deforestación, obstrucción o desvío natural de cauces, cambio en el régimen de escurrimiento, cambio climático; **técnicos**, como la pérdida de capacidad del personal para identificar, evaluar y determinar los riesgos producidos por corrientes fluviales, aludes, o flujos con una alta concentración de lodos, así como la falta de planes de atención a emergencias y programas de prevención y apoyo; **legales**, como el ordenamiento territorial y la administración de riesgos por inundaciones, la contratación de seguros contra desastres naturales y el establecimiento de reglamentos de construcción más severos; **y políticos**, pues aunque en varias leyes existen criterios adecuados en cuanto al ordenamiento territorial, ha faltado voluntad política para enfrentar la problemática que la reubicación presenta.

Esto ocasiona que las inundaciones se conviertan en un problema extraordinario, debido a que su frecuencia de ocurrencia es generalmente mayor a la permanencia de las autoridades municipales, estatales y/o gubernamentales, y éstas no lo visualizan con la importancia debida dentro del plazo de su gestión, por lo que toman decisiones sin evaluar los efectos en el mediano y largo plazo.

En tal sentido, estos problemas de inundaciones o desbordes de los cauces naturales, en vez de visualizarse con una buena y correcta **Gerencia de Planificación**, terminan generando una espontánea e improvisada **Gerencia de Crisis**.

3.3. CONSIDERACIONES FINALES.

La seguridad hídrica desde el punto de vista del potencial destructivo de las aguas debe considerar que los riesgos que se originan por la ocurrencia de las precipitaciones y que pueden afectar las zonas urbanas, las vialidades o las zonas agrícolas, deben ser analizados bajo la premisa de generar planes que permitan planificar a corto, mediano y largo plazo, medidas preventivas y correctivas, o también denominadas medidas no estructurales y medidas estructurales. Estas medidas permitirán establecer una planificación integral de la expansión urbana y de la planificación del uso del suelo para, en forma conjunta, evitar un crecimiento anárquico de las superficies impermeables y la consecuente interferencia y/o modificación de los escurrimientos superficiales.

Es importante destacar que las áreas de afectación durante o posterior a la ocurrencia de las precipitaciones, deben ser del conocimiento público. La población en general debe conocer los riesgos que corre cuando decide habitar determinado lugar. No obstante, los organismos públicos deben restringir las áreas de riesgo mediante la implementación de Planes de Desarrollo Urbano que limiten o circunscriban las áreas a desarrollar y que definan las áreas delimitadas como planicies inundables con riesgo potencial, sea en el caso con riesgo de eventuales inundaciones o desbordes de los cauces naturales, así como áreas sujetas a inundaciones por las precipitaciones.

La capacidad de la población para interpretar los hechos pasados ocurridos en la naturaleza, es determinante para establecer áreas seguras para la implantación de desarrollos urbanos.

Todo ello se logra con algo muy simple como n la educación de la población.

3.4. REFERENCIAS

- BOLINAGA, J.J. y colaboradores (1.984), "Proyectos de Ingeniería Hidráulica", Universidad Andrés Bello, 1.984.
- BOLINAGA, J.J., (1.979). "Drenaje Urbano". Primera Edición, Publicación del MARNR. Caracas 1.979.
- EPA (2002). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460, April 2002. EPA-821-B-02-001.
- GREY Y SADOFF 2007. Sink or Swim? Water security for growth and development David Grey and Claudia W. Sadoff. Water Policy 9 (2007) 545–571
- PERALES M. SARA, ANDRÉS-DOMÉNECH IGNACIO, (2.000) "Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible: Una Alternativa a la Gestión del Agua de Lluvia".
- PERALES, S. (2008). Perales Momparler, Sara - PMEnginyeria, Ponencia: "Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)", Expo Zaragoza 2008, España.
- UZCÁTEGUI B., G. (1.978), "La Necesidad de una Cultura Hidráulica", II Jornadas Nacionales de Ingeniería Hidráulica, organizadas por el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS), Publicación obsequio del Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT), Caracas, Venezuela, 1.978.
- WWW.ADAD.COM
- WWW.DRENAJEURBANOSOSTENIBLE.ORG
- WWW.GWP.ORG/ES/GWP-SUD-AMERIC
- WWW.IAGUA.ES

CAPITULO 4: LA AFECTACION AL CAMBIO CLIMATICO Y A LOS RECURSOS HIDRICOS POR LOS RESIDUOS SOLIDOS Y LOS LIXIVIADOS.

Dra. Pilar Tello Espinoza
México

4.1. INTRODUCCIÓN

La contaminación de los cuerpos de agua como ríos, mares, lagos y lagunas, así como el agua subterránea, provocada por los residuos sólidos se presenta de dos maneras. La primera se atribuye directamente por el mal manejo de los residuos sólidos que se vierten en las calles, cañadas y estas por la lluvia van a parar a los cuerpos de agua, así como la descarga de residuos en los drenajes. La segunda es por la contaminación generada por los lixiviados que se forman al disponer finalmente los residuos sólidos.

Además del mal manejo en los sistemas de recolección, almacenamiento en las calles, barrido de los servicios de aseo urbano en las ciudades, están las malas costumbres de los pobladores que vierten los residuos en las calles, carreteras, dejan las bolsas con residuos y los perros las rompen y dispersan los residuos. La situación se complica por los pepenadores, que por recuperar residuos pasan antes que el sistema de recolección y abren las bolsas dejando regado los residuos en las calles. Estos residuos caen a las coladeras o a los drenajes pluviales, provocando obstrucciones que conllevan a que cuando hay episodios de lluvia torrencial se salga el drenaje sanitario a las calles provocando contaminación.

Por otra parte, investigaciones han demostrado que los lixiviados producen genotoxicidad en ratas lo que sugiere un riesgo potencial de salud en humanos. En este sentido se reporta que las poblaciones que consumen agua contaminada con compuestos tóxicos y más aun las que están cercanas a los sitios donde se generan los lixiviados están expuestas a múltiples combinaciones de productos que originan desórdenes en la salud humana tales como cáncer del tracto digestivo y el tracto urinario entre otros.

El prevenir la fuga de los lixiviados de los rellenos sanitarios es de vital importancia en la operación de los mismos, y desde la construcción, colocando la geomembrana adecuada y las capas de suelo para amortiguar y evitar cualquier

daño o ruptura. Esto es aconsejable, ya que una vez producida la contaminación toma más tiempo en hacerse efectivas las medidas de descontaminación que el tiempo empleado por el nivel de contaminación alcanzado en hacerse evidente.

4.2. AFECTACION A CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES POR RESIDUOS SÓLIDOS

Las causas de las afectaciones normalmente se presentan, de varias formas, como son:

- Por depositar residuos en las quebradas, laderas, terrenos baldíos y que la lluvias van a arrastrar a mares, ríos, y otros cuerpos de agua.
- Por tirar residuos en las calles que van a coladeras o canales y estas cuando se tapan hacen que el agua residual se salga y contamine las calles, veredas y en algunos casos cuando el tirante del agua es alto, entran a los jardines públicos y hasta las casas.
- Los residuos que se tiran en las calles y van por el drenaje hacia las plantas tratadoras de agua residual, ocasionan problemas en las rejillas primarias de estas, cada día se reciben mayor cantidad de residuos, lo cual constituye un problema de manejo y costos para las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
- Los residuos que se tiran en las calles y van por el drenaje de las ciudades que no tienen PTAR, van directamente a los cuerpos de agua.
- Los residuos que llegan a los cuerpos de agua pueden tapar las tomas de agua de las plantas potabilizadoras, provocando interrupciones en el suministro de agua potable luego de lluvias intensas.

La disposición de los residuos en las quebradas se da por que el sistema de recolección no llegan a esas zonas, o porque el servicio no es constante las personas que viven en estas zonas prefieren desechar los residuos por las laderas. Si bien la cobertura de recolección es del 93.4 % en los municipios en América Latina y el Caribe (ALC), los municipios de tamaño micro (88.2%) y pequeños (89.3%) (OPS et al, 2010) tienen las coberturas más bajas considerando que se refiere a la zona urbana, en el caso de la zona rural no tienen recolección o se recoge cada 15 días.

El vertido de residuos en las calles es una costumbre de la población y lo hacen sin pensar en las consecuencias. Como se observa en la figura 4.1. que los canales de agua pluvial se llenan con residuos que se han vertido en la calle.



Figura 4.1. Residuos en la calle tapando los drenajes

Foto, propiedad de la Dra. Pilar Tello Espinoza, 2020

El mayor porcentaje de municipios descargan sus aguas residuales en ALC a los ríos y mares sin tratamiento. En las PTARs, mediante las rejillas se retiene los residuos sólidos que llegan por el drenaje. La mayor cantidad de PTARs en ALC son pequeñas de menos de 25 l/s (Noyola et al, 2013), esto constituye un problema mayor cuando los drenajes se llenan de residuos y estos tienen que ser captados en estas plantas con pocos recursos para disponer la cantidad de residuos que llegan recibir.



Figura 4.2. Ríos contaminados con residuos

Foto, propiedad de la Dra. Pilar Tello Espinoza, 2020

En el caso de las plantas potabilizadoras no se tienen informes de cantidad de residuos que retienen en sus rejillas de distintos tamaños, ya que lo único que contabilizan son la cantidad de lodos y arenas que recuperan. Muchas veces vuelven a verter los lodos y las arenas a los cuerpos de agua porque consideran que vino en el agua que entró a la planta y que las sustancias a las que estuvieron expuestas no son tóxicas. Sin embargo, esta práctica no es del todo correcta y está siendo analizada.

Un estudio del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), ha cuantificado que cada año 6,4 millones de toneladas de residuos acaban en el mar como se muestra en la figura 4.3.



Figura 4.3. Playas con residuos que salen del mar

Foto, propiedad de la Dra. Pilar Tello Espinoza, 2020

4.3 AFECTACION DE CUERPOS DE AGUA POR LIXIVIADOS

La formación del lixiviado es un fenómeno inevitable en la acumulación de residuos sólidos, por la percolación del agua de lluvia y por la humedad de los residuos orgánicos que se encuentran en estos. Mientras más agua percole a través de los residuos, mayor será la cantidad de lixiviado generado.

Bajo condiciones normales los lixiviados escurren al fondo de los sitios de disposición final, sobre todo cuando estos no son rellenos sanitarios, desde allí, se mueven a través de los estratos mediante movimientos laterales dependiendo de las características del residuo.

Por otra parte, la descomposición anaeróbica rápidamente comienza a actuar en un relleno sanitario, produciendo cambios en la materia orgánica, primero de sólidos a líquido y de líquido a gas, y a la vez su potencial contaminante, arrastrando consigo sólidos en suspensión, y compuestos orgánicos en solución. Esta mezcla heterogénea, tiene un elevado potencial contaminante, es lo que se denomina lixiviados o líquidos percolados.

El agua subterránea se puede contaminar con lixiviados por varias razones, por la característica del suelo, la formación de grietas en el suelo, la altura de la capa freática, la falta de impermeabilización del suelo, la perforación de geomembrana

o el rebalse de la laguna de lixiviados. La ruptura de la geomembrana se puede dar por usar geomembranas delgadas menores de 1 mm, las recomendables son las de 1.5 mm o 2 mm que son las que alcanzan impermeabilización de un coeficiente de conductividad hidráulica, de al menos 1×10^{-7} cm /seg de acuerdo a lo establecido en la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003.



Figura 4.4. Geomembrana rota en relleno sanitario.

Foto, propiedad de la Dra. Pilar Tello Espinoza, 2020

4.3.1. Cantidades de Lixiviados

La lluvia es el factor de mayor impacto en la generación de lixiviados.

Para determinar el impacto que el lixiviado puede tener sobre un cuerpo de agua es necesario calcular el volumen de generación. La cantidad de lixiviado se mide en m^3 por mes, y pueden ser calculadas mediante la fórmula que se presenta a continuación, que involucra la precipitación pluvial, el área que contiene residuos y el coeficiente de compactación del relleno (k).

Si se dan las siguientes condiciones: (1) no existe infiltración hacia el subsuelo y a través del recubrimiento, (2) el impermeabilizante de la base es impenetrable y (3) no hay retención de agua por el residuo porque éste ya es muy húmedo, es recomendable emplear esta fórmula.

$$Q = (P_m * A * K) / 103$$

Donde:

- **Q:** Caudal del Lixiviado (m^3 / mes)
- **P_m:** Precipitación pluvial mensual máxima (mm de lluvia / mes)
- **A:** Área de la superficie del relleno sanitario (m^2)
- **K:** Coeficiente que depende del grado de compactación de residuos. (0.1, es el valor más alto debido a que se considera para valores superiores a 0.9 ton/ m^3 de comparación) además que 1m equivale a 103 mm de lluvia.

De igual forma Tello,P (2012) indico que un estudio realizado a 20 rellenos sanitarios durante tres años en Alemania y encontró que la cantidad de lixiviados está en función de la compactación de los residuos, por lo que para residuos muy compactados ($0.7 \text{ ton}/m^3$) generan de 15 a 25 % de lixiviados del total del agua precipitada y para sitios con compactación baja (menores de $0.7 \text{ ton}/m^3$) generan 25 – 50 % de lixiviados de total de agua precipitada. Esto indica que los botaderos a cielo abierto tendrán mayor generación de lixiviado a infiltrar en el suelo o la que escurrirá a un cuerpo de agua.

De las investigaciones realizadas en un relleno sanitario en México, durante 3 años que recibe 1,100 ton/día y se trabaja a una compactación de $1.038 \text{ ton}/m^3$, y se generó 254,266.19 m^3 /año de lixiviados en el 2019, estos valores representan $0.63 \text{ m}^3/\text{ton}$ de residuos recibidos.

4.3.2. Composición de los lixiviados

En los sitios de disposición final, existen muchas probabilidades que se depositen residuos peligrosos, sobre todo en los botaderos, aun en los rellenos sanitarios es difícil identificar cuando en la carga llegan baterías de auto, botes de pintura, solventes, plaguicidas, entre otros y las sustancias químicas que los componen pueden ser movilizados a través de procesos de infiltración en forma de lixiviados.

Además, en muchos casos se carece de un sistema de drenaje pluvial, que evite los escurrimientos superficiales provenientes de los sitios más elevados, lo que provoca que se incremente el volumen de lixiviados, principalmente en períodos de lluvia.

En América Latina los lixiviados en rellenos sanitarios, en su mayoría son tratados mediante lagunas de evaporación, pero esta alternativa de tratamiento no

neutraliza o controla a los metales pesados y otros iones que se presentan en la descomposición anaerobia. El problema viene cuando las lagunas de lixiviados se rebalsan y se descarga sobre el suelo o a cuerpos de agua cercanos.

Ozanne (1990) reportó que la formación de lixiviados genera reacciones físico químicas como los cambios de pH, de la salinidad y del potencial de oxidorreducción de los líquidos que percolan a través de los residuos. La formación de lixiviados también genera la producción de metabolitos como: aminoácidos, ácidos grasos volátiles, aldehídos, carbonatos y bicarbonatos, nitratos, amonio, sulfatos y sulfuros, etc. Estos reaccionan con los residuos para inducir fenómenos de: disolución de minerales en medio ácido; estabilización de iones minerales en solución por efectos complejos y precipitación de sulfuros y carbonatos, etc.

El grado de acidez o alcalinidad en los lixiviados son el resultado de los metabolitos formados, por lo tanto, el aumento regular de la concentración de iones amonio disminuye la acidez del medio, de tal forma que si el amonio pertenece en una concentración del orden de 1g/L mantiene un pH ligeramente superior a 7.0. (Mounton et al 1985).

Durante la fase de maduración, el lixiviado a menudo contendrá ácidos húmicos y fúlvicos, que son difíciles de degradar biológicamente (Tchobanoglous et al, 1998). Lagier et al, (2000) pone en evidencia que más del 80% de la materia orgánica contenida en un lixiviado estabilizado está compuesto de macromoléculas «tipo húmicas» siendo la mayoría ácidos fúlvicos.

Investigaciones realizadas por Millot (1986), muestra que lixiviados jóvenes de menos de 5 años se encuentran en la fase acidogénica, además de carga orgánica elevada (demanda química de oxígeno (DQO)> 20,000 mg/l). Este valor va en la tendencia con lo observado en el relleno sanitario del CEMIRQ en Querétaro, México, que con 3 años presenta un promedio de 14,000 mg/l. Como se observa en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Parámetros de DBO y DQO del lixiviado de RSU en relleno sanitario.

PARÁMETRO	Relleno sanitario del CEMIRQ (Mexico)			
	ago-17	abr-18	ene-19	may-19
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	1567.3	5895.5	8475	8896
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	1587.2	10589.2	14221.3	13570
Coficiente (DBO/DQO)	0.99	0.56	0.60	0.66

Fuente: Elaboración propia.

En el relleno sanitario Bordo Poniente se recibían diariamente alrededor de 12, 000 toneladas de residuos urbanos provenientes de la Ciudad de México. Los lixiviados viejos (más de 5 años) presentan características fisicoquímicas de relación DBO/DQO menor a 0.1, que lo clasifican como un lixiviado estabilizado. El lixiviado joven (celdas de menos de 1 año) presenta una relación de DBO/DQO de 0.35, que indica la capacidad de tratamiento biológico con características de un lixiviado biodegradable (Orta et al., 2004). En el caso del relleno del CEMIRQ la relación para un relleno menor a 5 años es de 0.60 a 0.66, lo que indica que el lixiviado es biodegradable y no está estabilizado.

En el relleno sanitario de Linares Nuevo León estudios realizados indican que, la movilización en el acuífero de metales (Cr, Ni, Zn, As, Ba y Pb) ha sido muy limitada en condiciones aeróbicas a un pH de 8, y que los metales pesados Mn (P4), Zn (P4), Fe (P3, P4 y P8) y Pb (P3) mostraron una contaminación muy puntual en el acuífero, con origen en el relleno sanitario. Sin embargo, una variación hacia condiciones ácidas podría provocar su transferencia a fase acuosa, afectando los cuerpos de agua subterráneos de suministro de agua de la zona de estudio. (De León Gómez, et al, 2015). En esta investigación también se observó que existen reacciones ocasionadas por las reacciones del tipo de suelo sobre los residuos que hacen que el lixiviado concentre más metales o sea peligroso.

4.4 CONCLUSIONES

Los residuos sólidos urbanos son una fuente de contaminación de los cuerpos de agua superficial y subterránea por el aporte de sustancias tóxicas, metales y aumento de la DBO y DQO, entre otros.

Las malas prácticas de los ciudadanos en tirar los residuos en las calles, las quebradas incrementan la posibilidad de contaminación de ríos, mares y otros cuerpos de agua.

Finalmente se recomienda elaborar modelos hidrogeoquímicos de los lixiviados y su relación con el suelo de la zona, para observar el comportamiento químico de los contaminantes, su interacción con el medio físico (suelos y rocas) y los procesos hidroquímicos que se desarrollan con las aguas superficiales y subterráneas. De esta forma se pretende conocer adecuadamente el acuífero y determinar los mejores mecanismos de atenuación y mitigación del impacto negativo sobre las fuentes de agua.

4.5 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- **De León Gómez, et al (2015).** Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León) sobre la calidad del agua superficial y subterránea. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- **Lange J, Busing B, Hertlein J, Hediger S. (2000)** Water vapour transport through large defects in flexible packaging: modelling, gravimetric measurement and magnetic resonance imaging. *Packaging Technology and Science*, 13, pp 139–147.
- **Millot N. (1986).** Les Lixiviats de Decharge Controlée: Caracterisation Analytique; Études des Filères de Traitement. Tesis de doctorado, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Francia.
- **Mounton C, Albagnac G, Beckelynck J, Dubourguier H. (1985).** Production et Récupération de Biogás Produit par les Ondures Ménagères Enfouies en Decharge, T.S.M .- L'eau, N°. 9. pp 391-404
- **Nityanad Jayaraman, (2002)** Conozca sus venenos de Vertedero. India Resource Center, 25 de marzo 2022 <http://www.indiaresource.org/issues/water/2003/knownyourlandfill.html>

- **NOM-083-SEMARNAT-2003**, especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial
- Noyola Adalberto, Morgan-Sagatume Juan Manuel, Güereca Leonor Patricia (2013). Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Guía de apoyo para Ciudades Pequeñas y Medianas, UNAM, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2021/10/UNIVERSIDAD_NACIONAL_AUTONOMA_DE_MEXICO_A_NOYOLA.pdf
- **OPS et al (2010)**. Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe, 2010. OPS/AIDIS/BID <https://publications.iadb.org/es/informe-de-la-evaluacion-regional-del-manejo-de-residuos-solidos-urbanos-en-america-latina-y-el>
- **Orta, M et al (2006)**. Alternativa de tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios en plantas de aguas residuales urbanas. Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- **Ozanne, F. (1990)**. Les lixiviats de Décharges, le Point des connaissances en 1990. TSM-l'eau. pp 289-312.
- **Tello, P, Fernandez, G (2012)**. Comportamiento de la descomposición anaerobia de residuos sólidos urbanos producida en pacas compactadas e impermeabilizadas. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- **Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil S. (1998)**. Gestión integral de residuos sólidos, Vol. I, McGraw-Hill, Madrid,. pp. 8- 605
- **WHO-2000 (World Health Organization), (2000)**, Guidelines for drinking water quality, recurso electrónico
<http://www.who.int./water_sanitation_health/dwq/gdwq3/en/index.html>.

CAPÍTULO 5. EL CAMBIO CLIMÁTICO, LA SEGURIDAD HÍDRICA Y EL REUSO SEGURO DEL AGUA COMO UNA FÁBRICA DE AGUA

Ing. Rafael Dautant

Universidad de Carabobo.

**Asociación Venezolana de Ingeniería Sanitaria (AVISA).
Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria (AIDIS)**

5.1. INTRODUCCIÓN.

El planeta tierra está sufriendo modificaciones importantes en su estructura motivado en buena parte a prácticas no sostenibles que han hecho que se modifiquen en el ámbito climatológico; evidencias de esas modificaciones se tienen principalmente en el cambio climático global, reflejadas en hipoxia en las costas o bajos niveles de oxígeno disuelto que traen como consecuencia dificultad en la pesca, lluvias copiosas en sitios donde antes la precipitación era poca o prácticamente nula, sequías prolongadas en áreas de mucha intensidad de lluvia con consecuencias verdaderamente desastrosas. Si a eso le sumamos otros factores que inducen o incrementan estos riesgos para la seguridad hídrica como son la creciente demanda de alimentos, tanto por crecimiento demográfico como por cambios en la dieta, la demanda de agua para producción de alimentos y energía, los efectos del cambio climático y la deficiente gestión del agua.

Todo ello ha obligado a realizar un análisis detallado de lo que se conoce como seguridad hídrica y su relación con el cambio climático global así como cuál es la mejor manera para encararla para que no sea un arma terrible para la humanidad. La gestión deficiente juega un papel fundamental en la salud y el bienestar del ser humano, en la lucha contra la pobreza y en el desarrollo económico. Así, ninguna nación puede hoy minimizar la importancia de lograr una buena gestión del agua.

5.2. CAMBIO CLIMÁTICO, SEGURIDAD HÍDRICA Y REUSO SEGURO DE LAS AGUAS TRATADAS.

Para empezar a hablar sobre este tema tan importante para la sociedad actual se debe definir que es cada uno de los términos, cuando se habla de seguridad hídrica, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua la define “como la capacidad de una sociedad, para disponer de agua en cantidad y calidad aceptable para su supervivencia y la realización de diferentes actividades recreativas, de esta manera se asegura la estabilidad económica de una sociedad tomando en cuenta los cambios climáticos y la contaminación ambiental producida por los seres humanos que afectan directamente al agua”. A partir de esto se puede definir

como la capacidad de las sociedades para alcanzar una conducción exitosa e integral de sus recursos y servicios hídricos para cubrir las necesidades de cada una de las comunidades presentes en la sociedad antes mencionada, la seguridad hídrica debe ir de la mano con el crecimiento de las ciudades, y de la población en general, ya que sin seguridad hídrica la calidad de las poblaciones que allí habitan se verán afectados tanto en el crecimiento y bienestar entre otras cosas, que influyen en este ámbito; mientras que el cambio climático obedece a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos pudiendo ser estos de carácter natural, a través de las variaciones del ciclo solar; desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del cambio climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas. Por otra parte, el reúso seguro de las aguas convierte el gasto incurrido en los sistemas de tratamiento de aguas residuales en una inversión productiva, conocida como *“las fábricas de agua”*. En el reúso seguro de las aguas residuales tratadas, ellas son convertidas en una fuente adicional para la demanda del recurso de manera directa o indirecta.

5.3 FUNDAMENTOS DE LA SEGURIDAD HÍDRICA.

Al saber cómo se define, debemos saber en qué se fundamenta. Tener seguridad hídrica involucra la capacidad de proveer agua en suficiente cantidad y calidad para satisfacer las necesidades industriales, agrícolas, domésticas y energéticas. Por esa razón, para garantizarla, además de pensar en sistemas de tratamiento de aguas, líneas de conducción, drenaje sanitario, pluvial, y demás obras de infraestructura que permiten llevar el agua hasta las ciudades, así como su saneamiento, es fundamental preservar la integridad de los sistemas ambientales que son la fuente natural del agua. La seguridad hídrica permite hacer un uso ambiental del agua o sea restablecer la salud de los ecosistemas acuíferos y ríos a escala nacional, regional y global; hacer uso doméstico para satisfacer las necesidades sanitarias y de agua para el consumo en los hogares de todas las comunidades urbanas y rurales; y hacer uso económico para utilizar el agua con el propósito de fomentar el crecimiento económico a partir de la producción de alimentos, productos industriales y energía; hacer uso en las ciudades a fin de desarrollar metrópolis y ciudades saludables, dinámicas y habitables con una sólida cultura del agua.

Motivado a que el cambio climático ha hecho modificaciones en nuestra calidad de vida, el reúso de las aguas de manera segura permite tener una nueva fuente de suministro de agua para diversos usos empleando el criterio de reutilización/reúso.

5.4. CLASIFICACIÓN DEL REÚSO DEL AGUA.

La clasificación se basa en cómo es suministrada el agua a los diferentes potenciales usuarios, así como la fuente de generación del agua a ser reusada. Se

llamará de uso indirecto cuando se toma de un cuerpo receptor y de uso directo cuando el agua residual tratada proporciona la fuente de agua.

A los efectos de entender mejor esta clasificación, se denominará cuerpo de agua a aquel que recibe descargas de aguas residuales tratadas, parcialmente tratadas o sin ningún tratamiento, lo que la convierte en una fuente de agua insegura.

Antes de hacer la clasificación de las aguas de reúso seguro, se muestra en la figura 5.1 el esquema típico del manejo del agua.

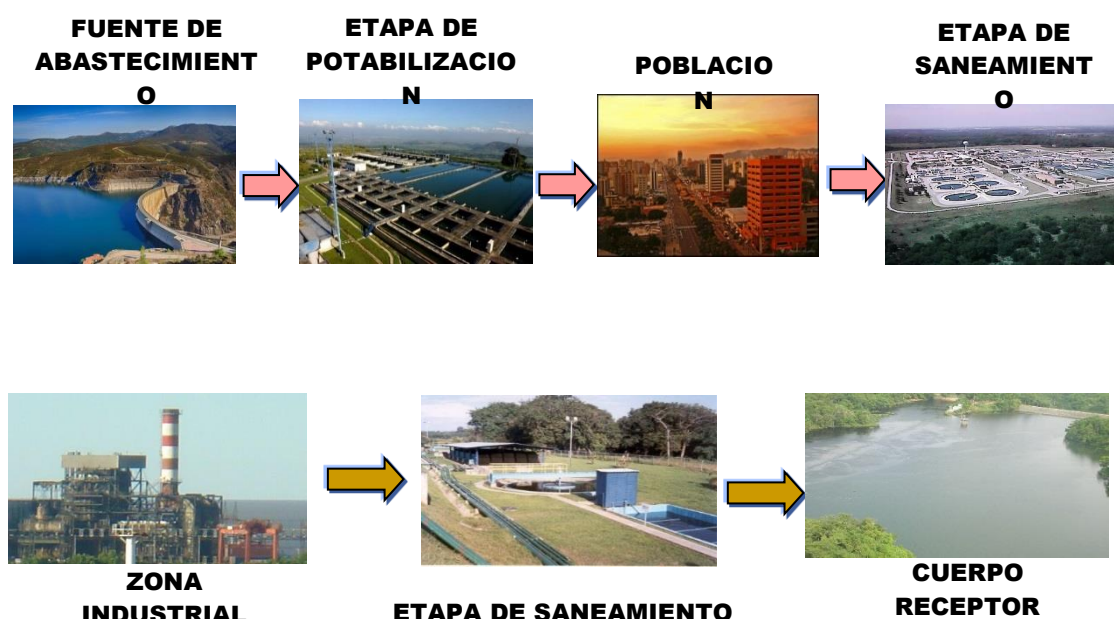


Figura 5.1. Manejo del Agua

Como se puede observar, este es el diagrama ideal y que en muchos países tienen que emplear para que se asegure que la población reciba una calidad de agua apropiada y se garantiza el saneamiento de las aguas residuales.

A continuación se presenta la clasificación de los diferentes tipos de reúso del agua:

1. Reúso seguro potable indirecto planificado.
2. Reúso seguro industrial indirecto planificado.
3. Reúso seguro potable directo planificado.
4. Reúso seguro industrial directo planificado.
5. Opciones de reúso seguro del agua en cuerpos de agua ambientalmente comprometidos.
6. Reúso inseguro potable indirecto no planificado.

Los siguientes esquemas- figuras ilustran esta clasificación.

5.4.1 Reúso seguro potable indirecto planificado

Esto ocurre cuando es captada el agua del cuerpo receptor (fuente de agua), en donde son vertidas aguas residuales tratadas de acuerdo a las normativas ambientales vigentes en los países, ellas incluyen etapas en el proceso de tratamiento con miras a ser reusada, una vez en el cuerpo de agua que funge como fuente de abastecimiento, serán enviadas a la planta potabilizadora. Ello implica un monitoreo permanente y estricto de la calidad de las aguas tanto del cuerpo como del agua ya potabilizada. ver figura 5.2



Figura 5.2. Reúso seguro indirecto planificado

5.4.2 Reúso seguro industrial indirecto planificado

Esto ocurre cuando es captada el agua del cuerpo receptor (fuente de agua), en donde son vertidas aguas residuales tratadas de acuerdo a las normativas ambientales vigentes en los países, para ser enviadas a una zona industrial. En este caso la industria debe tener estricto control sobre la calidad de las aguas que recibirá y hacer etapas de tratamiento adicionales si así lo requiere en función del uso que le darán al agua. Ver figura 5.2.



Figura 5.3. Reúso seguro industrial indirecto planificado.

5.4.3 Reúso seguro potable directo planificado

Representa el nivel de máxima exigencia entre la clasificación de aguas de reúso seguro pues ocurre cuando es captada el agua residual tratada como fuente de agua para consumo humano, éstas incluyen etapas de tratamiento avanzado con tecnologías debidamente comprobadas con estudios muy estrictos en las áreas de ingeniería, bioensayos, área social sobre su aceptación, etc. Ello implica un monitoreo permanente y estricto de la calidad de las aguas ya potabilizadas. Por lo general son diluídas con agua fresca y su uso es en países con escasez extrema de agua o que por su tamaño y desarrollo industrial así lo requieran. Experiencia en países como Israel y Singapur son dignas de conocer pues representan un nuevo servicio para el suministro del agua potable y en otro caso la de asegurar la independencia en el sector agua potable. Ver figura 5.4

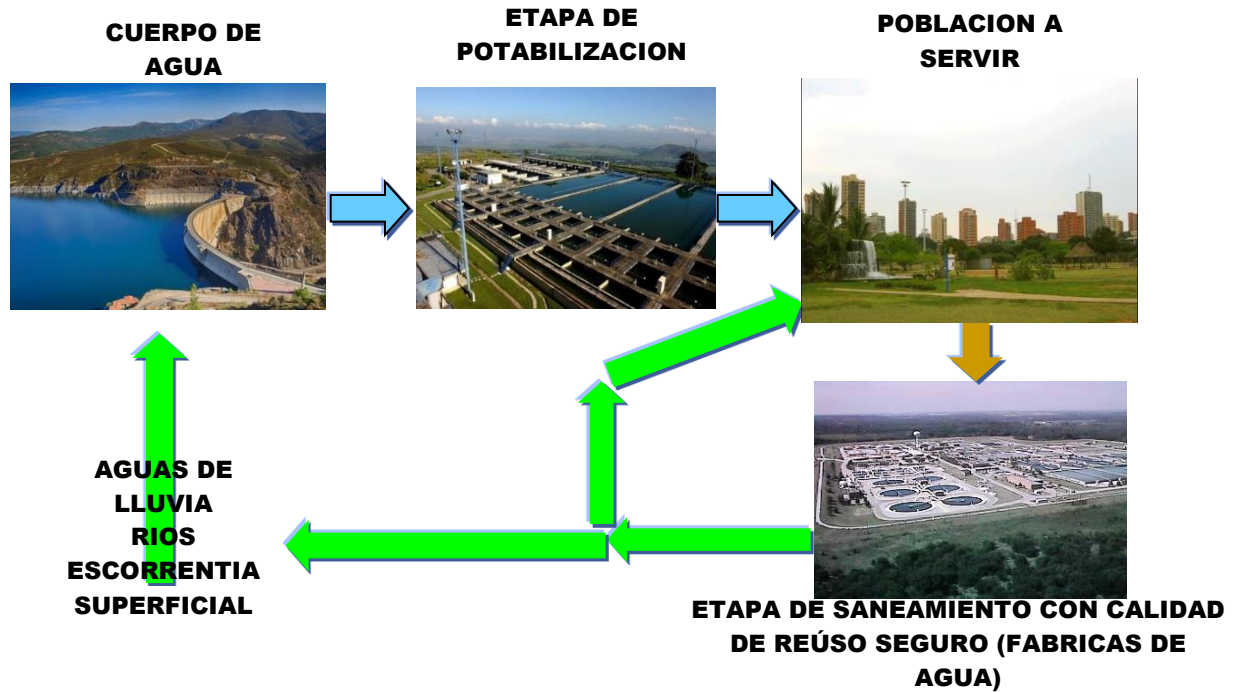


Figura 5.4. Reúso seguro potable directo planificado

5.4.4. Reúso seguro industrial directo planificado.

Ocurre cuando es captada el agua residual tratada como fuente de agua para consumo industrial en áreas de producción, mantenimiento, lavado de maquinaria, lavado de camiones, paisajismo, riego de áreas verdes entre otros, estas incluyen etapas de tratamiento avanzado. Por lo general se asume una buena calidad a la entrega y la industria deberá adaptarla si así lo considera en sus requerimientos industriales o en sus procesos de fabricación. Ello implica un monitoreo permanente y estricto de la calidad de las aguas que le sean entregadas. El reúso del agua para la industria representa una alternativa de servicio público a un costo menor que si utilizara agua de la red de agua potable; muchas ciudades en el mundo tienen acueducto gris o sea que contiene agua de reúso seguro a un costo menor por unidad de volumen. ver figura 5.5.



Figura 5.5. Reúso seguro industrial directo planificado

5.4.5. Opciones de reúso seguro del agua en cuerpos de agua ambientalmente comprometidos

Es muy común ver en países situaciones diversas en donde las aguas residuales tanto de origen sanitario como efluentes industriales son vertidas a los cuerpos de agua sin tratamiento, con tratamiento incompleto o plantas de tratamiento de aguas residuales que operan de manera deficiente o sencillamente no operan, ello trae como consecuencia que los cuerpos receptores poco a poco vayan perdiendo su calidad originaria y se convierten en cuerpos receptores ambientalmente comprometidos que les impide ser potenciales fuentes de abastecimiento para agua potable. Esos cuerpos de agua van adquiriendo calidad físico química y microbiológica fuera de los estándares tradicionales de calidad para consumo humano, comienzan a eutrofizarse con las consecuencias que trae como tal este proceso de crecimiento excesivo de plantas y algas acuáticas que puede llegar a secar la fuente de agua; es por ello que cuando un cuerpo de agua se encuentra con elevado compromiso ambiental, el reúso seguro del agua es una herramienta empleada en recuperar ese cuerpo de agua, acompañado de programa integral de saneamiento para interceptar y tratar las causas del compromiso ambiental. En la figura 5.6, se puede observar que los cuerpos de agua comprometidos

ambientalmente podrían representar materia prima para reúso potable, reúso industrial y reúso agrícola.



Figura 5.6. Reúso seguro del agua en cuerpos de agua ambientalmente comprometidos

5.4.6 Reúso inseguro potable indirecto no planificado

Es común ver en países que el agua que es utilizada como fuente de abastecimiento está comprometida ambientalmente y a pesar de ello, es procesada en una planta de tratamiento para la potabilización. Esto tiene las siguientes consecuencias de riesgo a la salud, estrés a los organismos encargados de hacer la vigilancia y control, estrés en los organismos operadores, estrés en los organismos de salud pública y estrés en la sociedad organizada, colegios profesionales, universidades, porque se siente que no está consumiendo agua de buena calidad; en pocas palabras, se consume agua potable en donde el origen de agua se encuentra en cuerpos de agua ambientalmente comprometidos, ello impide que la planta potabilizadora opere a capacidad de diseño y en algunos casos muy por debajo de sus valores nominales. Todo ello se solventaría con un programa de saneamiento integral de las aguas residuales que son vertidas de manera directa o indirecta al cuerpo de agua.

Los usuarios atendidos por este tipo de reúso inseguro, por lo general se ven afectados por falta de continuidad en el servicio, calidad dudosa del agua a consumir, suspensión reiterativa del servicio, falta de credibilidad en la empresa

operadora; esta clasificación representa la más insegura de todas. La figura 5.7 ilustra la falta de responsabilidad del ente operador ante esta situación.

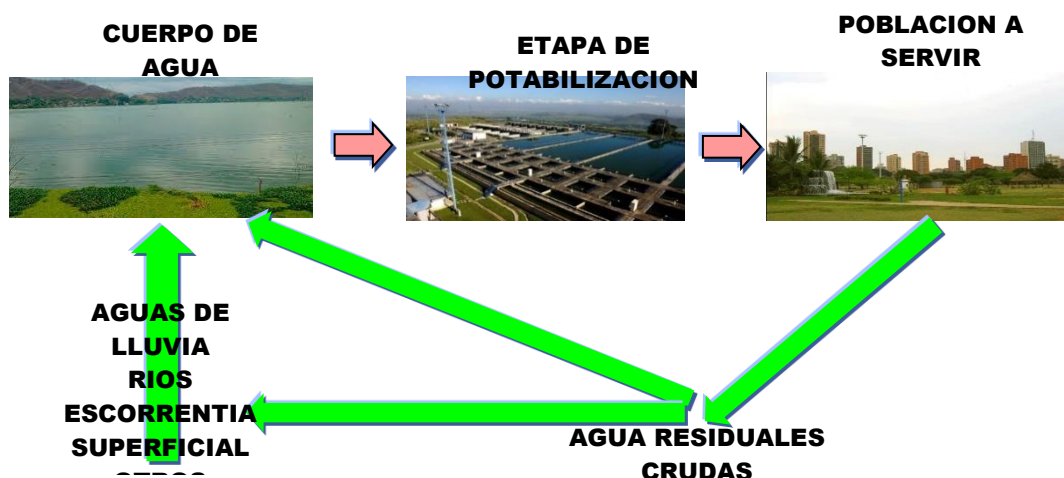


Figura 5.7. Reúso inseguro potable indirecto no planificado.

5.5 CONCLUSIONES

El uso seguro del agua permite lo siguiente:

- Acompañar con este nuevo servicio de suministro de agua a países con crecimiento y desarrollo industrial acelerado, especialmente en vías de desarrollo.
- Tener un servicio público a menor costo que el del agua potable.
- Minimizar la contaminación por las aguas.
- Hacer uso inteligente del agua, ó sea dotar de agua a un sector sin tener que traer agua de otros estados, empleando el agua generada a través de las aguas residuales.
- Balancear la distribución desigual del agua.
- Integrar los sistemas de tratamiento al uso del agua residual una vez tratadas.
- Combatir de manera sostenible los embates del Cambio Climático.
- Aportar soluciones que se alineen con la seguridad hídrica.
- Tener economía en el suministro de agua sobre todo la para actividad industrial y agrícola.
- Afrontar situaciones de escasez de agua en periodos de sequía.

- Apoyar sensiblemente la dotación de agua para garantizar la seguridad alimentaria.

No se refieren en el texto del capítulo las referencias. Deberían incluirse a lo largo del texto.

5.6. REFERENCIAS

- Water Environmental Federation, Industrial Water Reclamation and Reuse to Minimize Liquid Discharge, 2021.
- Water Environmental Federation, American Society of Civil Engineers. Design of municipal wastewater treatment plants. Vol 2. Fifth edition. Wefpress. Mc Graw Hill. 2010.
- Water Environmental Federation. Nutrient removal. Manual of practice No 34.. Wefpress. Mc Graw Hill. 2010.
- Water Environmental Federation. Biofilm reactors. Manual of practice No 35. Wefpress. Mc Graw Hill. 2010.
- Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering. Treatment and reuse. Fourth edition. Mc Graw Hill. 2003.
- Metcalf & Eddy. Water Reuse, Issues, Technologies and Applications' McGraw Hill. 2006.
- Water Environmental Federation. Biological and chemical systems for nutrient removal. WEF. 1998.
- Rede cooperativa de pesquisas. Tratamento de esgotos sanitarios por proceso anaerobio e disposicao controlada no solo. Prosab. 1999.
- Henze M, Loosdrecht M, Ekama G and Brdjanovic D. Biological wastewater treatment. Principles. Modelling and Design. IWA Publishing. 2008.
- Sannt A. Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicaos. Editora Interciencia. 2010.

CAPÍTULO 6. LA NUEVA CONCEPCIÓN DE INGENIERÍA PARA EL DISEÑO E INFRAESTRUCTURA VERDE COMO RETO ANTE EL CAMBIO CLIMATICO.

Ing. Jorge Triana Soto
Presidente Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental –AIDIS-
Periodo 2012-2014
Bogotá. Colombia

6.1 INTRODUCCIÓN

Desde el origen el ser humano ha recurrido al agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte. En la antigüedad en el valle de los ríos fue el lugar donde se establecieron las primeras civilizaciones, lugares en donde el agua era abundante y no era necesario el aprovechamiento de las aguas lluvias. Sin embargo, la realidad del siglo XXI es otra. La sobre población y el cambio climático, nos ponen a pensar y trabajar en búsqueda de un mejor aprovechamiento de las aguas con posibilidades de reúso.

En el tema de las aguas lluvias diferentes autores han estudiado el comportamiento de las civilizaciones en su manejo y aprovechamiento. Es así como, Gould y Nissen – Petersen (1999) describen los orígenes del aprovechamiento pluvial en las primeras civilizaciones del Medio Oriente. Además, (así como,) en la ciudad de Roma (siglos III y IV A.C.) las viviendas unifamiliares recolectaban el agua lluvia en el Atrio y la ciudad almacenaba en cisternas subterráneas el agua. En lugares como el desierto de Negev, en Israel y Jordania fueron descubiertos sistemas de captación de agua lluvia de hace aproximadamente 4000 años o más. En la civilización Maya en Centroamérica; al sur de la ciudad de Oxkutzcab (estado de Yucatán) en el pie de la montaña de Puuc, en el siglo X A.C. se contaba con un sistema para el aprovechamiento de agua lluvia. Este sistema (el cual) recogía el agua en un área de 100 a 200 m² y posteriormente se almacenaba en cisternas enterradas e impermeabilizadas en el suelo. En zonas como Edzna, Campeche; las poblaciones precolombinas construyeron un canal de aproximadamente 50 m de ancho y 1 m de profundidad el cual suministraba agua potable y riego de cultivos. En China en la provincia de Gansu se han encontrado pozos y jarras que fueron implementados para la captación de lluvias de hace 2000 años. La civilización Inca en el Perú, en la ciudad de Machupichu se observan los canales tallados en piedra para el manejo de las aguas lluvias. El imperio Otomano en Estambul construyó grandes cisternas

para almacenar las aguas y así podríamos seguir mencionando muchos más ejemplos.

Son múltiples las estructuras de anteriores civilizaciones en donde hicieron obras para la captación y manejo de las aguas lluvias y solucionaron problemas de escases. Hoy tenemos mucho que estudiar y aprender de estas prácticas con su ingenio y tecnología de la época, ya que ellos lograron lo que hoy estamos necesitando y anhelando.

Es indudable que en la región de los países de las American se encuentran muchas zonas y poblaciones con seria escases del recurso hídrico para poder cumplir con las necesidades básicas que requiere la población. Son varios los factores que han incidido para llegar a este punto, desde el político, el presupuestal, el territorial, el cultural, de planeación, de urbanismo, poblacional y finalmente el cambio climático que ha afectado seriamente la disponibilidad del recurso hídrico en la región.

Lo que no es muy entendible es como una de las regiones con mayor abundancia del recurso hídrico como son las Américas, se encuentre con serios problemas de reducción de sus fuentes abastecedoras para cubrir la demanda de la población.

A continuación identificamos algunas de las causas de la crisis del agua a nivel mundial: el crecimiento continuado de la población del planeta (9.500 millones de personas en 2050); la pobreza hídrica en muchas regiones; el aumento progresivo del consumo del agua (que se triplico en el siglo XX); la mala gestión de la misma; la existencia de instalaciones y grandes infraestructuras deficientes y obsoletas; las pérdidas en los sistemas de distribución que llegan a extremos de más de 60% en algunas ciudades y poblaciones de las Américas; la falta de cultura en uso racional del recurso; la inconciencia y mal trato a la naturaleza con las deforestaciones incontroladas, las quemas, la falta de recargas de los acuíferos, la protección de los nacimientos etc, (pueden ser las causas del problema del agua a nivel mundial que se ha visto aunado con las afectaciones del cambio climático.)

6.2. SITUACIÓN ACTUAL

Las ciudades en Latinoamérica se han venido desarrollando y ampliado a costa de las zonas verdes periféricas, de humedales y cuerpos de agua que en el pasado jugaban un papel muy importante en la regulación de las aguas lluvias y especialmente de las torrenciales. Eran espacios verdes de gran importancia ambiental que fueron despreciados y eliminados. En algunos casos desaparecieron porque fueron rellenados para permitir construcciones, en otros, como quebradas y fuentes de agua fueron canalizados o entubados para utilizar sus rondas en otras actividades urbanísticas.

Los urbanistas y planificadores con conocimiento o sin él, tomaron decisiones de desarrollo sin medir las consecuencias futuras que podrían tener. La preservación del ambiente o el cambio climático nunca estuvieron dentro de las condiciones o afectaciones a considerar, ya que no eran temas de gran preocupación durante los primeros 70 años del (en el) siglo XX. Tampoco se midieron las consecuencias de reducir las áreas verdes de infiltración y no se hizo una planificación adecuada para el debido manejo de las aguas lluvias. Solamente la preocupación se basó en recoger y conducir las aguas lluvias fuera del perímetro urbano de las ciudades.

Hoy, cuando el cambio climático afecta seriamente a todos los países de las Américas, nos reprochamos de las malas decisiones, de la falta de visión del futuro y de la poca planeación de las ciudades. En su momento, todo se solucionaba con instalar tuberías de aguas lluvias o sistemas de recolección mixtos (agua residual y lluvias) que desaguaran los predios, las vías, las zonas verdes y las viviendas, para llevarlas nuevamente a las fuentes de agua más cercanas. Este sistema funcionó en el siglo pasado y especialmente en las décadas finales, pero el crecimiento poblacional y las afectaciones ambientales que han llevado al cambio climático, han modificados los regímenes de lluvias con descargas mucho más fuertes y voluminosas de las que se presentaban regularmente. Esta nueva situación ocasiona que los sistemas pluviales por tuberías y canales de desagües colapsen y se presenten inundaciones en las ciudades causando daños a la infraestructura de las ciudades y afectando a la población en general.

La realidad actual, lleva a que las ciudades deben adaptarse a esta nueva condición climatológica, no solo preparándose para afrontarla sino recuperar en lo posible las zonas verdes, humedales y demás cuerpos de agua de infiltración que fueron reducidos o eliminados. Esto permitiría que (para permitir) las obras de la ciudad, espacios que permitían la amortiguación del impacto de torrenciales lluvias o construir nueva infraestructura que permita reducir el flujo de agua puntal que debe ser evacuada. Estas nuevas situaciones, obliga a que la planificación de las ciudades debe cambiar. El parámetro ambiental debe ser mucho más fuerte y debe condicionar los diseños y toma de decisiones, en donde las zonas verdes, los flujos naturales de agua deben ser vistos no solo como una necesidad paisajística sino como un elemento necesario dentro de la estructura del manejo y vertimiento de las aguas municipales. Las ciudades deben en lo posible recuperar las zonas verdes y crear nuevos espacios para el manejo de las aguas lluvias, porque la infraestructura actual ya no es posible ampliarla más y se ha quedado pequeña para afrontar las caudalosas lluvias que el cambio climático nos ha traído.

No hay que olvidar que la cantidad de agua distribuida en el planeta está permanentemente cambiando por la entrada y salida del sistema hídrico. La mayor parte del agua que se evapora de los océanos cae de vuelta sobre los mismos como precipitación. Solamente un 10 por ciento del agua evaporada desde los océanos, es transportada hacia tierra firme y cae como precipitación. Una vez evaporada, una molécula de agua permanece alrededor de diez días en el aire. La cantidad y localización del agua superficial varía en el tiempo y el espacio, ya sea por causas naturales o debido a la acción del hombre. El cambio climático ha hecho que los ciclos hayan variado y se presente en algunos casos redistribución, es decir, zonas en donde la abundancia se ha reducido, zonas en donde se presenta escasez y zonas en donde las precipitaciones son localmente excesivas en muy corto tiempo, lo cual, no permite que la infraestructura existente pueda evacuarlas causando inundaciones y daños incalculables.

6.3. LA EVAPORACIÓN CONDUCE EL CICLO DEL AGUA

A pesar de que el ciclo de agua es ampliamente conocido (el ciclo del agua), pareciera que se olvida en el momento en que hay que tomar decisiones respecto al manejo que hay que darle. La evaporación que siempre ha sido la que mueve el ciclo del agua, con el cambio climático y la elevación de la temperatura global, ha hecho que se haya aumentado el volumen de evaporación en los océanos en épocas del año que en muchos casos corresponden a los ciclos normales o estacionales. Esta evaporación ingresa a la atmósfera y esa misma cantidad vuelve a la (tienen) tierra como precipitación con variaciones geográficas.(mente). También es bueno recordar que en el océano es más alta la evaporación, pero el 90% del agua evaporada en ellos cae nuevamente como lluvia en sus áreas, ya que solamente el 10% de esta evaporación es transportada hacia tierra firme. En la tierra la precipitación supera la evaporación debido a esta influencia de los océanos, motivo por el cual, es necesario contar con la infraestructura necesaria para afrontar este nivel de precipitaciones.

El cambio climático y el calentamiento global han hecho que las evaporaciones de los océanos, lagos, ríos y demás cuerpos de agua sea mayor, cargando la atmósfera mucho más con moléculas de agua lo que lleva a las grandes precipitaciones que se están presentando en muchos lugares del planeta. Nos extrañamos de los fenómenos naturales, pero ellos son el resultado de los ajustes que la misma naturaleza ha tenido que realizar en razón a las acciones del hombre que han afectado el balance que se tenía en los ciclos del agua.

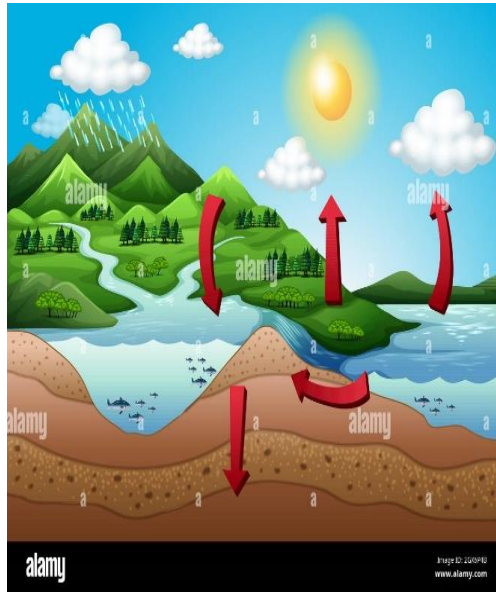


Figura 6.1. Ciclo Hidrológico (cortesía de alamy)

Como resultado de esas variaciones que ha tenido el ciclo del agua, el aumento de las evaporaciones consecuencias que han llevado a lo que llamamos cambio climático, se presentan grandes precipitaciones que han causado grandes estragos en diferentes partes del planeta. Las lluvias torrenciales, inundaciones y deslizamientos de tierra provocados por el paso de varios ciclones y tormentas tropicales están provocando importantes daños en algunos países de la región. En México, Guatemala, Costa Rica, Honduras, Estados Unidos, Nicaragua, Colombia y Uruguay, entre otros, las fuertes lluvias de los últimos tiempos han provocado también inundaciones, pérdidas de vidas, comunidades aisladas, evacuaciones de urgencia e importantes daños en viviendas e infraestructura.

Pareciera que no se están midiendo las graves consecuencias de lo que está ocurriendo ni se cuantifica las pérdidas que los daños ocasionados representan para las finanzas públicas de los países. Pareciera que nos hemos acostumbrado a pasar del desastre de la lluvia al desastre de la sequía sin que se tomen las medidas para mitigar apropiadamente esta nueva realidad ambiental. Además, si a lo anterior le adicionamos las pérdidas que sufren los habitantes en sus propiedades, los daños son inmensos y los perjuicios mayores.



Figura 6.2. Inundaciones en Argentina (Telesur)

6.4. QUE ES LA INFRAESTRUCTURA VERDE

La infraestructura verde es aquella que integra las aguas pluviales con el paisajismo. Es decir, une la concepción del agua con el ambiente urbano a través del aumento de áreas de infiltración y evaporación. La cuestión principal ahora, es aprender a convivir con el agua en su lugar de origen, priorizando la infiltración, reservación y evaporación. Hoy día no debería haber ciudades que tengan soluciones anticuadas y precarias. Las ciudades deben recurrir a las zonas que han sido afectadas o modificadas, crear nuevas zonas acudiendo a la tecnología actual, tener una visión diferente del diseño, planificación y desarrollo del urbanismo de la ciudad.

El escenario de cambios climáticos, con la alteración del régimen pluvial y concentración de las lluvias en pocos eventos y veranos más intensos, impone una revisión de los sistemas tradicionales de infraestructura de manejo de aguas pluviales. No podemos seguir cayendo en el error tradicional de cuando todo pasa se olvida lo que sucedió. Las inundaciones pasan y el verano llega y así mismo pasan los afanes, las críticas y las emergencias. Lo malo es que posteriormente, poco se hace para prepararse para evitar una próxima tragedia.

La infraestructura verde no es solo edificios y viviendas con jardines horizontales o verticales, es una nueva concepción de desarrollo urbanístico que se constituye en una oportunidad para introducir sistemas complementarios a los tradicionales

sistemas de drenaje. Se trata de insertar elementos en el paisaje urbano como jardines filtrantes, cisternas verdes, biocanaletas, pequeños humedales, parques con lagos, utilizando las zonas verdes como lugares de amortiguación de las aguas lluvias y ampliando los espacios para la infiltración. Esta concepción lleva a repensar las ciudades y su infraestructura, para lo que se requiere de ingenio y sobre todo decisión.

Si observamos el comportamiento de los lagos, lagunas y ríos, todos están en movimiento constante. De ese movimiento depende, su nivel, volumen y en muchos casos la calidad y oxigenación de las aguas. La naturaleza que ha sido mucho más sabia que los hombres, ha manejado y regularizado sus ciclos adecuadamente. Solamente debido a la intervención del hombre se han alterado muchos de los sistemas naturales de amortiguación para el manejo de las precipitaciones estacionarias, temporales o cíclicas en donde se habla de las lluvias de los 30, 50 100 y hasta 300 años debido a sus intensidades.

Siguiendo lo que la naturaleza nos ha enseñado, es necesario regular las aguas (hay que regularlas) en la forma más natural posible. Por ello, el concepto de infraestructura verde nos lleva a manejos de las aguas utilizando los espacios de las ciudades y creando en lo posible nuevos lugares para lograr retenciones de las aguas que permitan una evacuación más regulada y manejable. Basados en estos conceptos, las tuberías de aguas lluvias deberían ser redireccionadas a espacios y zonas con lagos y humedales, creando en el camino zonas verdes de retención de aguas, o tanques especiales bajo zonas verdes, parqueaderos o plazas, aumentando la función pública de estas áreas y haciendo uso de materiales que la tecnología ya ha dispuesto para estos fines. Toda retención de aguas lluvias minimiza los caudales sobre las tuberías y el sistema de saneamiento, evita inundaciones dentro y fuera de la ciudad y reduce las posibilidades de grandes desastres como los que han venido sucediendo últimamente.

La escorrentía superficial es afectada por factores meteorológicos y por la geología física y topografía del lugar. Únicamente un tercio de la lluvia que cae corre en forma de escorrentía hacia los océanos; la fracción restante, se evapora o es absorbida por el suelo pasando a formar parte del agua subterránea. Existen varios procedimientos, tecnologías y productos para el manejo sostenible de aguas lluvia, cuyo objetivo es la retención temporal. Este manejo permite, entre otros beneficios, aprovechar esas aguas retenidas en la descarga de inodoros, orinales, regadío de zonas verdes y labores de aseo. De esta manera, la innovación llevó a fabricantes a nivel internacional a desarrollar sistemas de drenaje urbano para gestionar el exceso de agua derivado de la impermeabilización de las superficies y del crecimiento poblacional. Tal es el caso

del sistema que permite construir depósitos retenedores de las aguas lluvia en casi cualquier sitio, evitando con ello los excesos escorrentía, minimizando la sobrecarga de los ya deficientes sistemas de drenaje urbano y permitiendo infiltrarla en el suelo natural o aprovecharla.

6.5. PORQUE LA SEGURIDAD HÍDRICA EN EDIFICACIONES

Las ciudades vienen sufriendo varios cambios urbanísticos debido al crecimiento poblacional. De viviendas unifamiliares se está pasando a edificaciones multiviviendas en donde los sistemas de distribución y recolección del agua se están viendo afectados y dejando a las empresas operadores con grandes retos en la prestación del servicio debido a las cuantiosas inversiones que deben realizar para poder cubrir la demanda que estos desarrollos están requiriendo. El diseño de edificaciones no ha variado mucho en su concepción y dotación debido a que el agua se entiende como un hecho cumplido, es decir, que alguien diferente al desarrollador, diseñador o constructor de la edificación debe cubrir esa necesidad. Basados en esa premisa, los diseños no contemplan alternativas para un mejor uso del recurso hídrico de la zona en donde están ubicadas. Tampoco están permitiendo que los usuarios puedan implementar estructuras de ahorro de agua.

El impacto ambiental debido al aumento continuado del consumo del recurso, vienen afectando los ecosistemas que producen agua causando una reducción de la disponibilidad presente en ríos, arroyos, acuíferos subterráneos y cuerpos de agua dulce. Ante esta realidad, es necesario que miremos alternativas para un mejor uso del agua en las viviendas y darle aprovechamiento al recurso hídrico en forma más eficiente y racional. La realidad y problema actual del agua en las diferentes regiones obliga a adoptar medidas urgentes que permitan promover tecnología, sistemas y diseños constructivos que permitan el almacenamiento y reúso de aguas no potables. Para ello, se debe buscar reducir la cantidad de agua necesaria en edificios y en usos comunes, mediante el aprovechamiento del agua lluvia, el reúso de aguas grises y la utilización de aparatos más eficientes y reductores de consumo. Esta estrategia permitirá reducir el consumo de agua municipal, reducir la necesidad de tratamiento de las aguas residuales, con significativa reducción en inversiones y costos de operación.

6.6. SISTEMAS RESIDENCIALES Y URBANOS

La seguridad hídrica en las edificaciones es un aspecto que no se ha venido teniendo en cuenta dentro de las normas urbanísticas, de arquitectura, de diseño, de ingeniería, regulatorias y de desarrollo de las ciudades con miras a los próximos 100 años. Es un tema no incorporado dentro de los conceptos, enseñanzas y formación de los profesionales y desarrolladores de proyectos urbanísticos actuales. Dentro de estos aspectos se encuentra, el uso eficiente del

recurso hídrico, el reúso, la recarga de acuíferos, los espacios verdes dentro de las ciudades y complejos urbanísticos para evitar grandes descargas de aguas lluvias con los tanques de almacenamiento o reservorios paisajísticos para ser utilizados como fuente de riego y otros usos, las viviendas verdes, entre otros.



Figura 6.3. (cortesía de transecto)

Las medidas estructurales más utilizadas en edificios y viviendas son: 1) Las cubiertas vegetadas (Green-roofs), sistemas multicapa con cubierta vegetal que recubren tejados y terrazas de todo tipo. 2) Superficies Permeables (Porous / Permeable Paving) pavimentos que permiten el paso del agua, abriendo la posibilidad a que ésta se infiltre en el terreno o bien sea captada y retenida en capas sub-superficiales para su posterior reutilización o evacuación. 3) Franjas Filtrantes (Filter Strips) franjas de suelo vegetadas, anchas y con poca pendiente, localizadas entre una superficie dura y el medio receptor de la escorrentía (curso de agua o sistema de captación, tratamiento, y/o evacuación o infiltración). Propician la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua, así como la infiltración y disminución de la escorrentía. 4) Pozos y Zanjas de Infiltración (Soakaways & Infiltration Trenches) pozos y zanjas poco profundos (1 a 3 m) rellenos de material drenante (granular o sintético), a los que vierte escorrentía de superficies impermeables contiguas. Se conciben como estructuras de infiltración capaces de absorber totalmente la escorrentía generada por la tormenta de diseño para la que han sido diseñadas. 5) Drenes Filtrantes o Franceses (Filter Drains) Zanjas poco profundas rellenos de material filtrante (granular o sintético), con o sin conducto inferior de transporte, concebidas para captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables contiguas con el fin de transportarlas hacia aguas abajo. Además, pueden permitir la infiltración y la

laminación de los volúmenes de escorrentía. 6) Cunetas Verdes (Swales) estructuras lineales vegetadas de base ancha ($> 0,5$ m) y talud tendido ($< 1V:3H$) diseñadas para almacenar y transportar superficialmente la escorrentía. Deben generar bajas velocidades ($< 1-2$ m/s) que permitan la sedimentación de las partículas para una eliminación eficaz de contaminantes. 7) Depósitos de Infiltración (Infiltration Basins) depresiones del terreno vegetadas diseñadas para almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en superficies contiguas. Se promueve así la transformación de un flujo superficial en subterráneo, consiguiendo adicionalmente la eliminación de contaminantes mediante filtración, adsorción y transformaciones biológicas. 8) Depósitos de Detención (Detention Basins) construidos superficialmente y diseñados para almacenar temporalmente los volúmenes de escorrentía generados aguas arriba, controlando los caudales punta. Favorecen la sedimentación y con ello la reducción de la contaminación. Pueden emplazarse en “zonas muertas” o ser compaginados con otros usos, como los recreacionales, en parques e instalaciones deportivas. 9) Depósitos de Detención (Detention Basins) son enterrados cuando no se dispone de terrenos en superficie, o en los casos en que las condiciones del entorno no recomiendan una infraestructura a cielo abierto, estos depósitos se construyen en el subsuelo. Se fabrican con materiales diversos, siendo los de hormigón armado y los de materiales plásticos los más habituales. 10) Estanques de Retención (Retention Ponds) son lagunas artificiales con lámina permanente de agua (de profundidad entre 1,2 y 2 m) con vegetación acuática, tanto emergente como sumergida. Los estanques, están diseñados para garantizar largos periodos de retención de la escorrentía (2-3 semanas), promoviendo la sedimentación y la absorción de nutrientes por parte de la vegetación. Contienen un volumen de almacenamiento adicional para el control de los caudales punta. 11) Humedales (Wetlands) son similares a los anteriores, pero de menor profundidad y con mayor densidad de vegetación emergente, aportan un gran potencial ecológico, estético, educativo y recreativo. En muchos casos, es necesario que las ciudades recuperen sus humedades, muchos de los cuales han sido secados por el desarrollo urbanístico o desechados para ampliar áreas de construcción de vivienda.

Todas estas concepciones que requieren de criterios más amplios en la concepción del desarrollo sustentable deben ser incorporadas obligatoriamente en la planificación urbanística y constructiva de las ciudades, haciendo un gran esfuerzo para que lo ya construido pueda ir incorporándose al sistema y se implementen en lo posible las medidas estructurales. Sin embargo, todo lo anterior no se logra sin la debida formación y educación de los profesionales haciendo conciencia de la necesidad e implicaciones de no implementar estas tecnologías en los nuevos diseños.

En Bogotá-Colombia, por ejemplo, ya cuenta con la norma NS-085 de la E.A.A.B., que establece soluciones que involucren la aplicación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), para retener el mayor tiempo posible las aguas lluvias en su punto de origen sin generar problemas de inundación. Los SUDS minimizan(do) los impactos del sistema urbanístico en cuanto a la cantidad y calidad de la escorrentía y evitando así el sobredimensionamiento o ampliaciones innecesarias en el sistema. De igual manera el nuevo Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) de aplicación nacional, expedido en el año 2017, establece las condiciones para el manejo sostenible de las aguas lluvias en los nuevos desarrollos urbanos. Este Reglamento exige que (donde) se modifique la cobertura del suelo para (que permitan) disminuir en un 25% los caudales picos de los flujos de aguas lluvias para evitar la sobrecarga de los alcantarillados pluviales, minimizando así los riesgos de inundación.

La necesidad de afrontar la gestión de las aguas pluviales desde una perspectiva diferente a la convencional, que combine aspectos hidrológicos, medioambientales y sociales lleva al uso de los SUDS, también conocidos como BMP's (Best Management Practices) o WSUD (Water Sensitive Urban Design). Entre otras acepciones es reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o intervención humana de las zonas naturales. Existen ya varios países que en sus ciudades están adaptando los SUDS. En términos de manejo sostenible de aguas lluvia, los SUDS recomiendan retenerla, aprovecharla, y no transportarla totalmente; considerando que se darán excesos que deben alimentar los cuerpos de agua superficial y subterránea para que continúen en el ciclo hidrológico.

La reducción de volúmenes de escorrentía y caudales punta puede solucionar la incapacidad hidráulica de la red de colectores convencional debida al crecimiento urbano no previsto en las fases de planificación de la misma. Los beneficios que trae estas concepciones de diseño son innumerables, entre ellos prevenir la contaminación del agua lluvia, control de inundaciones, recarga de agua subterránea y protección ambiental, además de una reducción de los altos costos de las conducciones y canalizaciones de aguas lluvias. Esto requiere tratar la escorrentía cerca de donde cae la lluvia, manejar la contaminación y proteger los medios receptores de agua. De ahí la importancia de las buenas prácticas en los diseños, construcción y urbanismo de las viviendas a través de una recolección y disposición apropiadas. Lo anterior debe ir acompañado de una educación y concientización pública para que se exijan y tengan en cuenta los SUDS en los proyectos de desarrollo.

Pero la utilidad de estas medidas va más allá de la gestión de las escorrentías urbanas en tiempo de lluvia. El sistema concebido inicialmente para resolver problemas en tiempo húmedo es además útil para gestionar otros tipos de escorrentía superficial en tiempo seco, como la producida por sobrantes de riego, baldeo de calles, vaciado de fuentes y estanques ornamentales, etc. En este sentido, cabe mencionar la posibilidad de reutilización de las aguas grises de edificios (aguas provenientes de lavabo, bidet, ducha y bañera), que con un mínimo tratamiento (bien por medio de técnicas SUDS o con pequeños equipos de depuración), podrían aportar un caudal constante de abastecimiento para ciertos usos que no requieren la calidad de agua potable, como por ejemplo las cisternas de los inodoros o el riego de superficies ajardinadas.

Existen varios procedimientos, tecnologías y productos para el manejo sostenible de aguas lluvia, cuyo objetivo es la retención temporal. Este manejo permite, entre otros beneficios, aprovechar esas aguas retenidas en la descarga de inodoros, orinales, regadío de zonas verdes y labores de aseo. De esta manera, la innovación llevó a fabricantes a nivel internacional a desarrollar sistemas de drenaje urbano para gestionar el exceso de agua derivado de la impermeabilización de las superficies y del crecimiento poblacional. Tal es el caso del sistema que permite construir depósitos retenedores de las aguas lluvia en casi cualquier sitio, evitando con ello los excesos escorrentía, minimizando la sobrecarga de los ya deficientes sistemas de drenaje urbano y permitiendo infiltrarla en el suelo natural o aprovecharla.

El compromiso frente los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS 11, Ciudades y Comunidades Sostenibles, en el que se establece promover la mitigación del cambio climático y la adaptación a él, en línea con nuestra principal actividad productiva, los sistemas de conducción de agua potable, soluciones para alcantarillado y recolección de aguas lluvia, debe ser la guía de planificación y desarrollo de las ciudades: y que es necesario actuar ya, las decisiones no dan espera y hay que procurar los recursos para la implementación de las medidas estructurales de mitigación, de lo contrario, la naturaleza seguirá su curso y los daños cada vez serán mayores.

6.7. AHORRO Y EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN LAS VIVIENDAS, EDIFICIOS Y SU ENTORNO.

6.7.1 Consumo de agua en viviendas

El consumo en las edificaciones se puede cuantificar así: Baños 20%, Duchado 5%, Bebidas y Cocinada 30%, Lavandería y Utensilios 45%.

De los anteriores porcentajes, se deben prestar especial atención al porcentaje utilizado en el baño que llega al 30%. Esta agua de las duchas es considerada como "agua Gris." Esto significa que no contiene contaminantes fecales principalmente. Además, gran volumen del agua utilizada en los lavaplatos es gris. La tecnología deberá desarrollar accesorios, equipos, elementos y controles para permitir el reúso de estas aguas.

La gran pregunta que se formula en estos casos es: ¿Porque no se han implementado los mecanismos para que esto se pueda desarrollar? Aquí, empieza el gran dilema ya que se genera las siguientes interrogantes: ¿No se han creado las leyes que lleven a esto? ¿No hay obligación de hacerlo? ¿Los costos en construcción de edificaciones serán mayores?

Con estos interrogantes entramos a que es primero si la gallina o el huevo. Los gobiernos no toman decisiones por las presiones de los constructores y por el miedo a incrementar los costos de las viviendas especialmente de tipo popular con alguna medida que obligue a implementar nuevos diseños y sistemas de reúso de las aguas grises y lluvias.

Muy desafortunadamente, mientras no sea una obligación y esté debidamente regulado por leyes en los países, el proceso de implementación de tecnologías para el ahorro y reúso del agua llegan muy lentamente. Esto ha sido el caso de los sanitarios, duchas y grifos de bajo consumo. En algunos países se ha avanzado más que en otros, pero las necesidades ambientales y del recurso agua no dan espera y deben ser asumidas con responsabilidad y prontamente.

Es así como diferentes fabricantes a nivel de las Américas vienen trabajando en el desarrollo de equipos y accesorios para mejorar el gasto de agua en ellos así:

- Sanitarios de bajo consumo y alta eficiencia
- Urinarios sin agua
- Duchas y grifos de bajo consumo

Otros desarrolladores vienen trabajando en equipos y accesorios para el uso interior de viviendas como son:

- Inodoros de compost. Estos sanitarios no utilizan agua, sino que procesan los residuos orgánicos con procesos microbiológicos. No es adecuada su instalación en edificios de gran altura.
- Uso de aireadores y sensores de movimiento. Colocar un aireador en un grifo puede suponer un 30% de ahorro. Los sensores controlan la cantidad de agua suministrada.

En cuanto a los sistemas que deben implementados en los diseños y construcciones de viviendas se pueden mencionar:

El reúso de aguas pluviales (rainwater harvesting) no es para nada una idea novedosa y tampoco es algo impensable, si tenemos en cuenta que en la realidad eso es lo que hacen los embalses que se vienen construyendo desde comienzos de la civilización.

Esta práctica se debe convertir en una necesidad y prioridad e implementarse en toda nueva edificación. Esto requiere de un sistema separado que lleve las aguas lluvias hacia un reservorio para su posterior reúso. Hay que tener en consideración que la recolección de aguas lluvias puede implicar el arrastre de algunos sólidos que hay que manejar. Para ello se pueden implementar trampas o filtros a la entrada o salida de los reservorios.

Necesariamente estos sistemas requerirán de un diseño operativo que permita hacerles limpieza cuando sea necesario. Para su reúso requerirán de un sistema de presión cuando esta ubicados en la parte inferior de la edificación (ver imagen arriba), pero también pueden ser localizados en la parte superior si el diseño de la recolección de las aguas lluvias lo permite, facilitando su distribución y uso por gravedad.

El reúso de las aguas grises suponen entre un 30 y un 50% de las aguas residuales en los edificios de viviendas; se pueden almacenar y utilizar posteriormente, mediante los tratamientos adecuados. Las aguas grises tienen su origen en bañeras, duchas, lavabos y lavadoras, en donde no se incluyen agua de fregaderos, lavavajillas ni de inodoros o urinarios, todos estos que requieren de tratamiento como aguas residuales.

El agua de duchas y lavabos, se pueden utilizar en inodoros tras su reciclado, y esta aplicación puede suponer un ahorro del 30% de consumo de agua para una vivienda tipo. También puede ser utilizada para el riego de zonas verdes y jardinerías, el lavado del auto, lavado de zonas duras como pisos y otros usos en donde no sea requerida agua potable.

En edificaciones multifamiliares en donde se pueda implementar el tratamiento de las aguas residuales, se presenta una gran oportunidad de ahorro en el consumo de agua.

El agua regenerada es un recurso con múltiples beneficios y es una estrategia en el diseño de edificios verdes. El aprovechamiento tanto de aguas grises como pluviales in-situ, permite su utilización en inodoros, el riego o en las torres de refrigeración, una vez han sido tratadas. De esta manera, se crea un circuito cerrado de agua reutilizada que permite reducir el consumo de agua de la red general, la generación de aguas residuales, el tratamiento en depuradoras locales e incluso la energía necesaria para su tratamiento en estas instalaciones. Los edificios certificados LEED que incluyen esta estrategia reciben en muchos países

incentivos por ello de las agencias estatales. Este hecho supone un rápido retorno de la inversión.

6.7.2 Eficiencia en la red de distribución municipal

La sectorización de las redes de distribución y la instalación de medición permite tener control sobre el consumo en los diferentes sectores de la ciudad, categorizar su uso y determinar los horarios, costumbres y detectar más fácilmente las pérdidas en las redes y programar sus reparaciones. La medición sectorizada se convierte en una gran herramienta para determinar y controlar los factores que inciden en el uso del agua en las ciudades. Toda inversión en este sentido tendrá una rápida recuperación por los beneficios que representa.

Otra de las acciones que se deberán emprender a nivel municipal y empresarial es el reúso del agua residual tratada en las plantas depuradoras. En el nivel industrial ya es una práctica que ha venido creciendo y desarrollándose cada vez más y se han comprobado ampliamente sus beneficios. En el nivel municipal, es mucho más lenta y difícil ya que requiere de decisiones políticas y de cuantiosos recursos. Sin embargo, no se puede descartar esta aplicación ya que los volúmenes de agua son muy importantes y los usos múltiples.

No tienen mucho sentido que el agua después de haber sido tratada en una depuradora sea arrojada nuevamente a una fuente que posiblemente está contaminada perdiendo todos los beneficios del tratamiento, así como los costos del proceso. El reúso debe ser visto como una opción tecnológica y ambientalmente válida y hay que tener presente que el desarrollo de los tratamientos ha avanzado en procesos que pueden llevar el agua de reúso a condiciones de hasta de consumo nuevamente. El caso de Singapur con su programa de “NEW WATER” es un ejemplo de ello.

Se han establecido programas llamados LEED que establecen unos objetivos en el Rating System para la Categoría de Water Efficiency, los cuales buscan:

- Reducir la cantidad de agua necesaria en viviendas, edificios y el exterior de los mismos.
- Reducir el consumo de agua municipal.
- Reducir la necesidad de tratamiento de las aguas residuales in situ.
- Aprovechamiento del agua de lluvia para las necesidades de agua interior y exterior (equilibrio hídrico).

Es indudable que hay que hacer un cambio significativo en la concepción y los diseños de las nuevas viviendas, pero también es indudable la problemática que se presenta para modificar todas las viviendas existentes, las que hoy representan el mayor problema. Los cambios necesarios requieren de ajustes y cambios sustanciales que no son fáciles de acomodar en las viviendas ya construidas,

especialmente por la necesidad de tuberías y aparatos nuevos: Tampoco es fácil solucionar el problema económico que todos estos cambios significan. Por esto, es que se requieren ajustes que se adapten a la realidad existente tanto social como económica.

En las edificaciones existentes, la implementación y reemplazo de los aparatos existentes por los de bajo consumo que lleven a un verdadero ahorro(a) de agua, representa una muy significativa inversión para las familias: que muy seguramente sin los subsidios y estímulos necesarios no será fácil lograr estos cambios y mucho menos las inversiones que representan para almacenar y reusar el agua lluvia.

Por su parte, las ciudades deberán implementar almacenamientos de aguas lluvias, ya sea haciendo estanques en zonas abiertas como parques y zonas verdes, o tanques especiales bajo tierra, a fin de no solo regular los desagües y evitar las inundaciones, sino poder implementar su reúso.

El dilema de los recursos económicos para lograr estos cambios en las viviendas no es sencillo. En algunos casos, los operadores mediante mecanismos de financiación a los usuarios han fomentado los cambios los cuales en algunos países se vienen dando lenta pero progresivamente. Es aquí en donde las decisiones políticas deben tomar fuerza, en donde la responsabilidad hacia la protección de los recursos naturales debe ser una prioridad.

6.8. LAS LEYES, NORMAS, REGULACIONES

El comportamiento empresarial se regula mediante mecanismos de obligatorio cumplimiento o comerciales. Es así como, lo que no es un requisito regulado siempre tendrá una alternativa menos costosa para implementarse. Para ello, es indispensable contar con leyes, normas y regulaciones claras que puedan ser cumplibles por todas los operadores y usuarios. Hay que tener en cuenta que no es lo mismo regular y controlar grandes ciudades que pequeñas poblaciones y esas diferencias se deben tener en cuenta.

Esto es lo que ha venido sucediendo con el consumo del agua. Su abundancia del pasado que está relacionada con la población mundial existente en las diferentes épocas, llevo a que los diseños de su uso fueran poco exigentes en el consumo. Ahora, cuando la relación cantidad de agua vs población mundial empieza a presentar un déficit en muchos lugares del planeta, se hace necesario que se establezcan normas más rigurosas en cuanto al uso irracional del agua. Las empresas prestadoras del servicio de agua potable han ido regulando el consumo principalmente con tarifas basadas en los metros cúbicos de consumo, con gradualidad hacia arriba a medida que se consume más. Pero, esto no es suficiente mientras aun existan grandes pérdidas en las redes de distribución y desperdicios en el uso, las cuales tienen una gran incidencia en la disponibilidad y seguridad hídrica del recurso agua.

Estas normas y regulaciones harán que los empresarios puedan invertir en el desarrollo de los aparatos de uso eficiente de agua, bajando sus costos y haciéndolos más accesibles a la población. También se deberán implementar los mecanismos financieros para lograr estas metas. Ampliar la comercialización y uso de aparatos ambientalmente amigables, es el estímulo que requieren los fabricantes para investigar, producir e innovar, llegando a precios favorables para la comunidad.

No podemos olvidar que mientras la población debe hacer esfuerzos económicos para reducir su consumo de agua, las ciudades deben hacer lo propio. No es posible que aun existan ciudades en las Américas con pérdidas físicas y agua no contabilizada en redes de distribución que en porcentajes superan el 50% y llegan hasta el 60%. Los gobiernos a todo nivel deben tomar conciencia de lo que significan estos valores para el futuro de las ciudades y de su población.

Igualmente, basados en normas, los diseños de las instalaciones sanitarias de las viviendas deberán ajustarse a nuevas condiciones de consumo en donde el reúso sea parte esencial de las construcciones. Desafortunadamente, esto no se cumplirá sino con normas que son responsabilidad de los legisladores de cada país.

No podemos olvidar que siempre existirá el temor de los diseñadores y constructores a invertir más de lo absolutamente necesario en las viviendas, so pena de no venderlas o no tener réditos suficientes. Por ello, los estímulos que los gobiernos puedan dar, la claridad de las leyes, normas, reglamentos, estabilidad jurídica de todas ellas y el respeto por reglas de juego claras y sostenibles en el tiempo, son fundamentales para generar la confianza que se necesita para la implementación y el avance del desarrollo de estas iniciativas.

6.9. LA FORMACIÓN DE LOS PROFESIONALES

La realidad nos lleva a que los profesionales en formación tanto ingenieros como arquitectos, deben contar con una nueva visión del desarrollo urbanístico y del diseño de las edificaciones y viviendas familiares. De igual forma los profesionales en ejercicio deberán tomar conciencia y si necesario actualizarse en los conceptos y diseños que permitan la implementación de uso eficiente de todo el recurso agua.

Lo anterior implica que, los centros de educación, actualización, investigación y estudio deberán adaptarse y cambiar la enseñanza. Deberán hacerla más acorde con la realidad ambiental del planeta para crear no solo conciencia de la situación actual, sino inquietud en el estudiante para que genere ideas y forme criterios ambientales más fuertes. Esto no solo implica la actualización de libros, guías, conceptos, sino la manera de enseñar para fomentar la investigación y el desarrollo de metodologías y tecnologías que lleven al ahorro y uso eficiente del recurso agua en todas sus formas. (porque) De lo contrario, las instituciones, los

profesionales y las ciudades quedarán en el pasado y perderán toda competitividad y posibilidades de desarrollo. Hay que saber aprovechar a los millennials con su conocimiento y habilidad tecnológica para que con innovación desarrollen nuevas ideas, creen metodologías, sistemas, equipos y elementos que permitan un mejor uso del agua en todos sus niveles. No hay que olvidar que gran parte de la innovación tendrá que llevarse a cabo en la adaptación de las viviendas actuales, las cuales se convierten en el gran reto para los próximos años.

Las ciudades y las viviendas deberán adaptarse mucho más a su entorno, a las condiciones climáticas y ambientales de su localización y a la realidad que manejan. Las ciudades sin agua no sobreviven, por eso, es una responsabilidad de todos buscar las soluciones más efectivas, hacer programas de corto, mediano y largo plazo para ir transformando lo existente y por sobre todo, es imprescindible hacer un gran esfuerzo en la concientización de la clase política, de quienes toman decisiones, hacen desarrollos urbanísticos, los construyen y los habitan. Los centros educativos, agremiaciones y el sector privado, tienen un papel fundamental que adelantar para buscar los objetivos y metas que lleven a la toma de decisiones conducentes a lograr la transformación de las ciudades. La educación es el eje central de todo este proceso de transformación.

6.10. REFERENCIAS

- (<https://ecoinventos.com/propuesta-solucion-evitar-inundaciones-ciudades/>, s.f.)
- (<https://elblogverde.com/inundaciones-que-son-por-que-se-producen-soluciones/>, s.f.)
- (<https://elblogverde.com/wp-content/uploads/2016/06/inundaciones-ciclo-agua.jpg>, s.f.)
- (<https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>, s.f.)
- (<https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>, s.f.) (<http://www.fao.org/3/a-i3247s.pdf>, s.f.)
- (<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2418/Monterojuan2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, s.f.)
- (<http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73754/Sistema+Urbanos+de+Drenaje+Sostenible>, s.f.) (<http://smartcities.i-ambiente.es/?q=blogs/soluciones-naturales-para-los-retos-urbanos-en-las-ciudades>, s.f.)
- (<http://sudsostenible.com/del-alcantarillado-romano-los-suds-breve-revision/>, s.f.)
- (<https://ovacen.com/wp-content/uploads/2015/05/gestion-del-agua-en-el-planeamiento.pdf>, s.f.)
- (https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_content&view=article&id=1743:heavy-rains-produce-floods-and-landslides-in-the-region&Itemid=1178&lang=es, s.f.)
- Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Oficina Regional de la FAO

para América Latina y El Caribe. Participación del Fondo Internacional para el Desarrollo de la Agricultura (FIDA) y la Cooperación Suiza, mediante aporte financiero complementario.

- Subdirección de ecourbanismo y gestión ambiental empresarial SEGAE sistema urbanos de drenaje sostenible. Secretaria distrital de ambiente 2011.
- Documento técnico de soporte DTS Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte pozn Elaboro: Ing. Martha Patricia Molina León coordinadora Ing. Leonardo Gutiérrez Profesional contratista SER Arq. Jaidy Salazar Profesional contratista SEGAE Diciembre 2011.
- Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible: Una Alternativa a la Gestión del Agua de Lluvia. Sara Perales Mompalmer (1), Ignacio Andrés-Doménech (2) (1) PM Ingeniería, Avda. Aragón 18-1º-1, 46021 Valencia. sperales@pmenginyeria.com (2) Dep. Ing. Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Edificio 4E. Cno. de Vera s/n, 46022 Valencia. igando@hma.upv.es
- (<http://sembrandonoticias.com/construir-tanques-tierra-almacenar-agua-lluvia/>, s.f.)<https://www.mundoconstructor.com.ec/sistemas-de-captacion-de-agua-pluvial/>
- (<http://www.corrienteverde.com/articulos/cosecha%20de%20aguas%20de%20lluvia%20y%20su%20potencial%20en%20edificios%20verdes.html>, s.f.)<https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/6-soluciones-de-infraestructura-verde/>
- (<http://www.corrienteverde.com/articulos/cosecha%20de%20aguas%20de%20lluvia%20y%20su%20potencial%20en%20edificios%20verdes.html>, s.f.)<https://www.vanguardia.com/mundo/ola-verde/infraestructura-verde-para-solucionar-problemas-urbanos-HFVL375288>
- (<https://www.iagua.es/blogs/raul-herrero/desatinos-urbanisticos-infraestructura-verde-defensa-frente-inundaciones>, s.f.)<http://www.fundacionconama.org/>
- <http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Documents/Divulgacion/Revista/Quince/223/223-04.pdf>
- <https://www.iagua.es/blogs/mixzaida-pena/problemas-recurso-agua>

CAPITULO 7: LA INDUSTRIA Y LA SEGURIDAD HÍDRICA- LA SEGURIDAD HÍDRICA EN LOS DIVERSOS USOS DEL AGUA EN LA INDUSTRIA

Dra. Gabriela E. Moeller Chávez. México

7.1 INTRODUCCIÓN: LA IMPORTANCIA DE LA SEGURIDAD HÍDRICA EN LA INDUSTRIA

La industria es una actividad económica calificada como secundaria, que consiste en transformar la materia prima en un producto elaborado. El desarrollo de la industria y el sector secundario, implica la necesidad de *innovación*, resultando fundamental la tecnología. Por razones del costo final del producto elaborado, las industrias suelen establecerse a gran escala. Esto requiere, a su vez, suministro de capital y de mano de obra calificada y especializada que caracteriza al sector industrial.

La industria es un sistema integrado por entradas de materias primas o bienes intermedios, procesos de transformación y salidas de bienes finales o productos. Según el producto que se dediquen a elaborar, existen industrias alimenticias, textiles, químicas, farmacéuticas, metalmecánicas, mineras, de curtiduría, automotrices por mencionar algunas.

El agua y la energía son insumos esenciales e imprescindibles para todos los procesos de producción industrial. El agua, líquido vital necesario para la producción puede formar parte esencial como componente del o los procesos, para servicios asociados a los procesos y para enfriamiento y calderas requeridos en los mismos. La industria se encuentra desigualmente repartida, estando más presente en las zonas urbanas. También existe una diversidad en la implantación de la industria a nivel global. Normalmente, los países más industrializados, corresponden a las economías más potentes y la importancia económica de esta en todos los países es indiscutible, ya que aporta un porcentaje significativo al PIB de cada país.

Al analizar los usos del agua a nivel mundial, la industria utiliza, en comparación con otros usos, relativamente pequeñas cantidades del recurso a nivel global de aproximadamente 20% de las extracciones totales, (GE Reports Staff, 2017); sin embargo, esta cantidad aumenta día a día y habrá indiscutiblemente una competencia por lograr el suficiente recurso que satisfaga las necesidades de producción a nivel industrial y también para otros usos, como el urbano y el agrícola que inevitablemente tendrán una mayor demanda debido al aumento en la población. Para 1995 a nivel mundial se reportó una extracción de 752 Km³ por

año la cual se estima aumente para 2025 a 1170 Km³ que sería aproximadamente el 24 % del total de las extracciones. (United Nations, 2011).

En los últimos años, el desarrollo industrial en América Latina en forma general ha crecido en forma exponencial, pero lamentablemente en forma desordenada en cuanto a respetar al medio ambiente, considerando sólo las utilidades que la producción secundaria persigue sin considerar los daños medioambientales.

Uno de los mayores retos de la industria en nuestros días es manejar el uso del agua en forma razonable y cesar la explotación indiscriminada del recurso, así como un control de la contaminación de un modo eficiente que permita preservar los recursos hídricos, tanto en cantidad como en calidad en todo el planeta. El cumplimiento y el logro de este reto nos permitirá se considere que la industria logre su *seguridad hídrica*.

La contaminación industrial es la incontrolable degradación del medio ambiente por el crecimiento industrial no planeado, el cual está directamente relacionado con la descarga a la atmósfera de sustancias contaminantes sin ningún control de la cantidad, densidad y composición química. La causa principal de la contaminación industrial es la quema a gran escala de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón, el gas. En cuanto a las descargas de aguas residuales envenenada con una diversidad de compuestos contaminantes provenientes de la producción industrial que descargan y contaminan suelo, aire y cuerpos de agua como son los ríos, lagos, lagunas y acuíferos. (García Liñán, 2020).

7.2. APLICACIONES DE LA SEGURIDAD HÍDRICA EN EL CONTEXTO INDUSTRIAL

Ya que la industria es uno de los más grandes contaminadores del agua, descargando de 300 a 500 millones de toneladas de metales pesados, solventes, lodos tóxicos, materia orgánica y otros desechos por año, se demanda una acción inmediata para su control. Estas descargas contaminan el agua y la hacen no potable matando fauna como peces que son fuente de alimentos y a otros organismos además de llegar también al ser humano siendo riesgoso para su salud tanto a corto como a largo plazo. Al transferirse los contaminantes a la cadena alimenticia a través de su uso en la agricultura y su asimilación por plantas y vida animal se biomagnifican. Es importante hacer mención de que en los países en desarrollo, el 70 % de los desechos industriales se vierten sin tratamiento a los cuerpos de agua. (WWAP, 2017.)

La seguridad hídrica se ha definido como:

La disponibilidad de una cantidad y calidad de agua, para la salud, el bienestar humano, el de los ecosistemas y para la producción, aunado a un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua para las personas, el medio ambiente y la economía. La seguridad hídrica deberá ser siempre una prioridad para la sociedad,- en su ausencia las personas y las economías se tornan pobres y vulnerables-.(Grey, D. & Sadoff, C., 2007)(Martínez, et al 2019).

Asimismo, la Global Water Partnership, GWP la define como: *"la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sostenimiento de los medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socio-económico, para garantizar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con el agua, y para la conservación de los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política."* TEC n°14 (GWP 2010).

La seguridad hídrica consiste en tener:

i) *una disponibilidad de agua que sea adecuada para el abastecimiento humano, los usos de subsistencia, la protección de los ecosistemas y la producción; Esto implica incluir a los procesos industriales de producción de los diferentes bienes o productos.*

ii) *la capacidad para acceder y aprovechar dicha agua de forma sustentable y manejar, de manera coherente, las interrelaciones entre los diferentes sectores;*

y

iii) *un nivel aceptable de riesgos para la población, el medio ambiente y la economía, asociados al agua como: "La disponibilidad de una adecuada cantidad y calidad del agua para la salud, los medios de vida, los ecosistemas y la producción, y la capacidad de acceder a ella, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua a personas y ambientes, y la capacidad para gestionar esos riesgos."*

El término de *seguridad hídrica* en su más amplia acepción es el que se logre con una *"descarga inocua"*, y/o una *reutilización* de los efluentes tratados *"libre de riegos"*, lo cual implica para la industria prácticas de prevención o para darle al agua residual generada el tratamiento adecuado para que no tenga los efectos negativos ya mencionados.

Eso significa que todas las industrias deberán *"mejorar su desempeño ambiental"* lo que incluye el compromiso a realizar acciones encaminadas a reducir los impactos ambientales de sus procesos y productos usando los recursos más eficientemente y descartando tanto el uso de compuestos tóxicos como materias primas, como la descarga de éstas que hayan sido generadas durante el o los procesos de producción. Asimismo, con la sustitución de combustibles fósiles por el uso de fuentes de energías renovables, mejorando la salud y seguridad ocupacional; asumiendo una alta responsabilidad ambiental del productor, reduciendo el riesgo para las personas, el ambiente y el clima. Estas prácticas corresponden al paradigma de las economías verdes y las industrias verdes. (Greening of industry, UNIDO 2010).

La *cuarta revolución industrial*, que se basa en un nuevo nivel de organización y control de toda la cadena de valor a través del *ciclo de vida de los productos* y producción de sistemas mediante la utilización de la tecnología y en la que el consumidor toma parte del diseño del producto, requiere un cambio de modelo de negocio y en el funcionamiento de los procesos de las empresas industriales (cambios de paradigma) lo que permitirá caminar hacia un modelo de industria sostenible, adoptando prácticas de *economía circular* y cumpliendo con lo que establecen las metas de los Objetivos de Desarrollo Sustentable, particularmente

ODS 6 y 9. (ODS 6 : Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos y ODS 9: Construir una infraestructura resiliente, promover la industrialización sostenible e inclusiva y fomentar la innovación).

En el sector del agua, el concepto de economía circular se materializa en volver a utilizar el agua una y otra vez, tal como sucede en el ciclo natural. En el sector urbano, mediante la regeneración de las aguas residuales, se puede mitigar el consumo neto de agua reutilizándola en diferentes aplicaciones (riego agrícola, parques y jardines, limpieza, etc.). En el sector industrial, se puede volver a utilizar el agua regenerada proveniente de los efluentes para generar nuevos productos y, de esta forma, reducir su impacto medioambiental y ahorrar costos; además de extraer y recuperar recursos valiosos contenidos en los diferentes efluentes industriales. (Melgarejo, 2019).

7.3 TIPOS DE INDUSTRIA Y LOS USOS DEL AGUA EN ELLAS. GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Para el caso específico de la industria, desde un enfoque integral se puede sostener que las innovaciones tecnológicas encaminadas al cuidado del medio ambiente deben abordar cuatro aspectos básicos de las tareas de manufactura:

- i) Seleccionar los mejores procesos de producción;
- ii) Seleccionar la mejor tecnología para el producto;
- iii) Adoptar un óptimo gerenciamiento de los recursos humanos, y
- iv) Adoptar una óptima organización de la empresa y el trabajo.

La utilización de tecnologías limpias enfocadas a prevenir emisiones y reducir desperdicios en el origen, permite simultáneamente reducir los impactos ambientales en el ciclo de vida total de los productos, desde la extracción de las materias primas hasta el confinamiento o almacenaje final. (WWAP, 2015).

En este capítulo se enfocará la atención a los usos del agua como insumo constitutivo como parte del proceso de producción o como auxiliar en éstos, ya sea en procesos para enfriamiento, uso en calderas y para servicios en la misma industria.

En México, los usos consuntivos del agua se clasifican en: Agrícola, abastecimiento público, energía eléctrica e industria autoabastecida. (CONAGUA,2018).

Los % de uso se presentan en la figura 1.

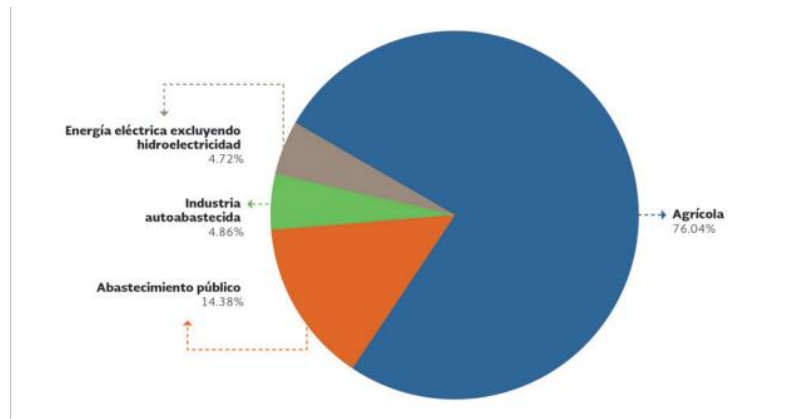


Figura 7.2. Usos consuntivos del agua en México.
Fuente: CONAGUA, 2018.

La CONAGUA entidad perteneciente a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, es la entidad responsable del manejo del agua en México. La clasificación para uso industrial es denominada "*industria autoabastecida*". En este uso agrupado se incluye la industria que toma el agua que requiere, directamente de los ríos, arroyos, lagos o acuíferos del país y que conforme al "Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte", (SCIÁN), la incluye como una actividad secundaria que se conforma por los sectores de: minería, generación transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y gas por ductos al consumidor final, construcción e *industrias manufactureras* (INEGI, 2013).

Las industrias manufactureras pueden ser muy diversas y según el producto que fabriquen dependerá la cantidad de agua y energía que requieran y la cantidad y tipo de contaminantes que se generen en sus aguas residuales, denominadas *aguas residuales de proceso*. Algunos de los giros industriales importantes por el tipo de producto que fabrican pueden ser las siguientes, por mencionar sólo algunas:

- Industria azucarera.
- Industria minero-cuprífera
- Industria siderúrgica.
- Industria del cuero
- Industria de celulosa y papel.
- Industria minera.
- Industria petrolera.
- Industria textil.
- Industria química
- Industria farmacéutica
- Industria alimentaria
- Industria de bebidas y refresco, etc.

En cuanto a la generación de aguas residuales, la *huella hídrica* ofrece una amplia perspectiva respecto a la relación que se establece entre un producto, productor o consumidor con los sistemas de agua dulce. Es una medida volumétrica entre el consumo de agua y la contaminación, por lo cual, el agua industrial y el agua residual están presentes de manera intrínseca en el manejo del concepto.

El vínculo entre el agua industrial y la huella hídrica no es únicamente referente al consumo de agua, sino también a la cantidad de agua que retorna al ambiente después de haber sido utilizada, y que además lleva altas cargas contaminantes. Esta situación se ve magnificada, debido a que cuando no se cuenta con plantas de tratamiento o estas son insuficientes o inadecuadas para tratar los contaminantes presentes, los efluentes residuales son descargados de forma directa en cuerpos receptores, lo cual conduce a la contaminación de grandes volúmenes de agua, así como a la distribución de múltiples compuestos xenobióticos y tóxicos en los ecosistemas. *El control de este tipo de acciones con tecnología innovadora y ad hoc, nos permitirá alcanzar la seguridad hídrica.*

7.3.1 Usos del agua en los procesos de producción

De acuerdo con el tipo de producto que la industria manufacturera produzca se requerirán cantidades diferentes de agua al igual que calidades específicas. A través del proceso de producción las entradas de agua generarán las aguas residuales del proceso industrial.

Los daños al agua asociados a las principales industrias no se mencionan en este capítulo. El lector tendrá que referirse a consultar información específica de la industria para conocer desde materias primas requeridas para la síntesis del producto y sus productos o subproductos formados durante el proceso de producción que generarán las aguas residuales específicas por industria y por proceso de producción. En cada caso será imprescindible realizar una caracterización de las aguas residuales generadas y un análisis detallado de los procesos unitarios requeridos para eliminar los contaminantes de la manera en que se conforme un tren de tratamiento que sea efectivo para lograr su remoción y así lograr ya sea una descarga inocua que no dañe al medio ambiente o un efluente que pueda reutilizarse con seguridad.

Para el agua que es utilizada en los procesos de producción y que representa la generación de las aguas residuales industriales de proceso, se puede hablar de cuatro niveles distintos de tratamiento, aunque en la práctica las barreras entre ellos no siempre son claras.

1) El tratamiento al final de tubo, el cual implica tecnología que puede añadirse al proceso para manipular las corrientes de desperdicios. Requiere equipo e insumos (como químicos y energía). Estas tecnologías disminuyen la contaminación, pero sin reducir realmente la cantidad de desperdicios generados en muchos casos.

2) Una segunda alternativa en el proceso es la recuperación al final del tubo para la

reutilización en el mismo proceso o en procesos alternativos.

3) La tercera opción, comúnmente conocida como tecnología más limpia, se traduce en mejoras en la eficiencia del proceso (minimización de desperdicios). Como consecuencia, la empresa recibe beneficios por la reducción del uso de materias primas y de los costos por la disposición de los desperdicios.

4) Rediseños radicales de los procesos si con las propuestas arriba mencionadas no se logra una descarga inocua.

7.3.2. Usos del agua para enfriamiento

Muchos procesos industriales en sus procesos de producción generan calor que es necesario controlar. El uso de las torres de enfriamiento de agua son equipos que basan su funcionamiento en el principio del enfriamiento evaporativo, que se aplica en la industria desde hace mucho tiempo. El enfriamiento evaporativo es un proceso natural que utiliza el agua como refrigerante y que se aplica para transmitir a la atmósfera el calor excedente de diferentes procesos y máquinas térmicas. A grandes rasgos, los equipos de enfriamiento evaporativo, como las torres de enfriamiento, incorporan: una superficie de intercambio de calor y masa humedecida mediante un dispositivo de distribución de agua, un sistema de ventilación (natural o forzada) encargado de favorecer y, en su caso, forzar el paso del aire ambiente a través del relleno de intercambio de calor y masa, y diferentes componentes auxiliares tales como una balsa colectora de agua, bomba de recirculación, separadores de gotas e instrumentos de control. El agua para ser utilizada en estos equipos requiere de una calidad específica que puede generar al adicionar productos químicos para su aplicación, contaminantes que pueden ser nocivos para la salud o el medio ambiente. Por la naturaleza del proceso evaporativo, las sales minerales disueltas (sólidos disueltos totales) en el agua tienden a concentrarse en cada nuevo ciclo de recirculación, provocando su aumento junto con la sílice causando incrustaciones ya sea de tipo mineral ocasionadas por las sales presentes en el agua o zoogreas microbianas en partes de la torre de enfriamiento.

Estas incrustaciones son responsables de problemas como la reducción de la eficiencia y capacidad de la torre debido a la disminución de la transferencia de calor. Además, el peso añadido puede dañar el relleno e incluso la estructura que sustenta la torre.

En cuanto al crecimiento de microorganismos, la torre presenta unas condiciones de temperatura y humedad estables junto con una ausencia de luz que es un caldo de cultivo ideal para el crecimiento de algunos microorganismos como la *Legionella*.

Para evitar estos problemas es necesario el empleo de químicos desincrustantes y biocidas. También se necesita la extracción de una purga de aproximadamente un

5% del caudal de circulación para evitar una excesiva concentración de sales. El acceso al interior es complicado, por lo que la limpieza se hace difícil, lo que lleva muchas veces al deterioro de rellenos y su consiguiente reemplazo. Para combatir estas incrustaciones se utilizan productos químicos desincrustantes que pueden ser nocivos si se descargan al medio ambiente sin tratamiento. Debe de revisarse cuidadosamente cuáles son los productos utilizados y los principios activos que los conforman para evitar descargas de compuestos recalcitrantes y/o tóxicos al medio ambiente.

7.3.3. Usos del agua para calderas

Una caldera es un recipiente metálico, cerrado, destinado a producir vapor o calentar agua, mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica. A la combinación de una caldera y un sobre calentador se le conoce como generador de vapor.

Las industrias generan una gran cantidad de agua para generación de vapor a través de las calderas. Es necesario que el agua de alimentación sea adecuada para evitar problemas de rendimiento en su operación. En su estado natural el agua contiene elementos que son considerados como contaminantes los cuales es necesario tratar.

El principio básico de funcionamiento de las calderas consiste en una cámara donde se produce la combustión, con la ayuda del aire comburente y a través de una superficie de intercambio se realiza la transferencia de calor. En función de las necesidades energéticas de los procesos, las calderas pueden ser: Calderas de agua caliente, calderas de agua sobrecalentada, calderas de vapor saturado, calderas de vapor sobrecalentado y calderas de fluido térmico.

La caldera es básicamente un intercambiador de calor, que transfiere la energía térmica de los combustibles, como petróleo, bagazo, etc., al agua de alimentación para convertirla en vapor. En la industria es usual la generación de vapor para usos en procesos químicos, calentamiento y generación de corriente eléctrica. Los problemas que se generan en las calderas se deben fundamentalmente a la calidad de agua de alimentación.

Un adecuado tratamiento del agua de alimentación, así como el control de las condiciones de operación en la caldera permitirá reducir significativamente los problemas de incrustación y corrosión.}

Estos equipos utilizan grandes cantidades de agua que requiere una determinada calidad, para lo cual hay que acondicionar o tratar el agua para que adquiera la calidad requerida removiendo ciertos elementos, en su mayoría contenidos en el agua en forma disuelta, utilizando productos que pueden ser nocivos al medio ambiente. La pureza del agua, en el caso de la producción de vapor en calderas, la calidad del agua debe ser óptima por lo cual requiere el tratamiento adecuado con un monitoreo constante de los principales parámetros que influyen directamente en la eficiencia de los generadores de vapor y para sostener un

buen rendimiento sobre los elementos tecnológicos que participan en el tratamiento del agua respecto a : suavizadores, inhibidores y tratadores , estableciendo condiciones seguras para el cuidado del medio ambiente. Es imperativo tener un inventario preciso de estos productos para evitar su uso y/o descarga nociva que dañe el medio ambiente. La presión de vapor (0.51-102 Kg/cm²) determina la temperatura y la capacidad energética de la caldera, pero también la calidad del agua de alimentación. La regla general establece que mientras más alta es la presión, más estricta deberá ser la calidad del agua de alimentación. (Ortíz Díaz, A & Tavera Cardona, C. 2013).

7.3.4. Otros usos del agua en la industria

La industria utiliza el agua para múltiples funciones. Las arriba descritas son los usos principales, pero aparte existen otros usos como el de usos sanitarios, para servicios auxiliares y limpieza y contra incendios.

El agua para uso sanitario debe ser potable y estar libre de bacterias patógenas, para lo que se dosifica cloro y se bombea a un sistema independiente; mediante pruebas bacteriológicas se puede establecer la concentración de cloro residual (ppm) que debe quedar en la solución a utilizar.

El agua para servicios auxiliares y limpieza se utiliza para actividades diversas de lavado de una determinada área de trabajo. Este tipo de agua no requiere de ningún tratamiento posterior al de la eliminación de sólidos en suspensión y sedimentos.

En relación con el agua utilizada contra incendios, dado que este es un servicio ocasional se asegura una capacidad suficiente para cuando sea requerido y en caso de ser necesario pueda interconectarse con el almacenamiento más grande con que se disponga. Por lo general se trata de agua cruda que no requiere de ningún tratamiento.

El agua utilizada para éstos otros usos puede ser intercambiada por agua residual tratada y podrá ser reutilizada después del tratamiento adecuado para intercambio del agua de primer uso.

Cada industria en sus procedimientos de auditoría ambiental deberá estimar la cantidad de agua utilizada en estos servicios y la posibilidad específica de su intercambio por el agua residual adecuadamente tratada (Ortíz, A. & Tavera, C. 2013).

7.4. USO EFICIENTE DEL AGUA EN LA INDUSTRIA O HIDROEFICIENCIA INDUSTRIAL: LA HUELLA HÍDRICA

El uso eficiente del agua o hidroeficiencia es un indicador de la relación entre la cantidad de agua necesaria para un fin o proceso determinado y la cantidad de agua

utilizada realmente. El uso del término es relativamente reciente. Un concepto relacionado, pero que no significa lo mismo, es el ahorro de agua, donde el énfasis

está en la realización de un proceso con la mínima cantidad de agua posible. En industria, otros conceptos relacionados con la hidroeficiencia son los siguientes:

7.4.1. Productividad del agua

Cantidad de agua utilizada para generar una cantidad concreta de producto. Se suele utilizar cada vez más en producción industrial, hablándose, por ejemplo, de “cantidad de agua utilizada por tonelada de producto”.

7.4.2. Reciclaje y reutilización del agua

El reciclaje y reutilización del agua se utilizan a menudo como dos términos intercambiables. Se puede definir el “reciclaje del agua” como la reutilización del agua de un proceso, para la misma finalidad y en el mismo sitio, y “la reutilización del agua” como la reutilización de agua en otro lugar, normalmente para otro propósito. En el caso del reciclaje, se distingue entre el reciclado de aguas residuales (por tratamiento para su reutilización) y el reciclado de agua evaporada (por condensación de vapor de agua para su reutilización).

7.4.3. Huella hídrica

El concepto de huella hídrica (“Water Footprint”) fue introducido en el año 2002 por un experto del Instituto UNESCO-IHE, con la intención de definir un indicador que relacionara las necesidades de agua con el consumo total de bienes y servicios, capaz de aportar información válida más allá de los indicadores que hasta entonces existían, basados en la producción. La huella hídrica de una industria vendría definida por el volumen de agua necesaria para la generación de los productos y servicios consumidos por dicha industria.

Para empresas, la huella hídrica es muy útil cuando quiere tener en cuenta no sólo en qué cantidad se usa el agua en sus operaciones, sino también qué supone el agua en la cadena de suministro de la empresa. (Hoekstra, A. 2015).

7.4.4. Agua neutral

Cuando se habla de reducir la huella hídrica a cero, se utiliza el término “agua neutral”, un término elegido como un análogo a “carbono neutral” que se aplica a las actividades con la huella de carbono cero. En las operaciones de las industrias, una huella hídrica cero es técnicamente posible. La aplicación de la hidroeficiencia en una industria implica normalmente un rediseño de los procesos y los productos industriales, con los siguientes objetivos:

- Que en el proceso industrial disminuya el consumo directo de agua, las pérdidas o los efluentes, y que las fuentes de energía utilizadas consuman menos agua.
- Que los productos industriales resultantes consuman para su fabricación materias primas que necesiten menos agua, y que también necesiten menos agua para ser consumidos o usados una vez fabricados.

Para ello, se debe tener un planteamiento abierto que integre: la optimización de procesos, la revalorización de las aguas sobrantes (con el fin de que puedan reutilizarse o aprovecharse en otros procesos como materia prima) y el diseño y generación de productos hidroeficientes. (Actuar directamente en el diseño de producto puede producir una importante reducción en la cantidad de agua necesaria para su producción, uso y disposición, y los productos pueden generar, además de ahorros, nuevas oportunidades de negocio). (FM-AEDHE, 2015).

7.4.5. La importancia de la huella hídrica

Para las empresas y, en particular las que tienen un alto nivel de dependencia del agua en su proceso, los riesgos y responsabilidades relacionados con el agua son cada vez más reconocidos. Los inversores y acreedores están poniendo cada vez más exigencias en las empresas para evaluar y comunicar los riesgos relacionados con el uso del agua, así como a desarrollar estrategias para hacerles frente. Las empresas también están bajo creciente presión para adoptar medidas de responsabilidad corporativa que integren criterios de hidroeficiencia, dentro de su política de sostenibilidad y respeto al medio ambiente.

Asimismo, la conciencia sobre la importancia de huella hídrica individual y nacional cada vez crece más. En un entorno de globalización, los impactos ambientales y de consumo de recursos (entre ellos, el agua) derivados de los bienes y servicios producidos en otros lugares no son facilitados muchas veces a los consumidores, por lo que van surgiendo iniciativas cuyo objetivo es precisamente sensibilizar al consumidor o usuario final sobre la importancia de la huella hídrica del producto y de la empresa que lo fabrica, y atraer la preferencia por bienes y servicios sostenibles respecto al consumo del agua.

Las industrias calculan su huella hídrica como entidad, y la huella hídrica de los productos finales. La huella hídrica de una empresa es la suma de las huellas hídricas de los productos finales que la empresa produce. La huella hídrica de un producto es la suma de las huellas hídricas de los diferentes procesos adoptados para producir el producto (teniendo en cuenta toda la producción y la cadena de suministro).

Calcular la huella hídrica tanto de la empresa como de los productos manufacturados es complicado. En este sentido, se han desarrollado varias metodologías e iniciativas en el mundo para tratar de armonizar cómo medir la huella hídrica y como reflejarla, por ejemplo, en el etiquetado del producto final, si bien lo más destacable es que ISO está considerando el desarrollo de un nuevo estándar precisamente para proporcionar mediciones aceptadas internacionalmente para la huella hídrica. (FM-AEDHE, 2011).

En el concepto de huella hídrica, hay que tener en cuenta los siguientes apartados:

7.4.5.1. Huella hídrica azul

Es un indicador de uso de “agua azul”, es decir, agua dulce superficial o subterránea, que se incorpora al producto o se evapora durante su fabricación. También se incluye el agua que se utiliza pero no vuelve al mismo sitio, o no lo hace en el mismo periodo. En procesos industriales, cada componente de la huella hídrica azul se puede medir sin grandes problemas. Normalmente se conoce la cantidad de agua que se agrega para formar parte del producto, aunque no se suele medir directamente cuánta agua se evapora durante el almacenamiento, transporte, tratamiento y eliminación. Lo ideal para hacer mediciones adecuadas sería poder utilizar bases de datos que contengan datos típicos sobre el uso del agua para los distintos tipos de procesos de fabricación. De estas bases de datos, no existen muchas o carecen de detalles. Las existentes (fundamentalmente en EEUU), suelen incorporar datos sobre el uso del agua por sector industrial y no por proceso de fabricación.

7.4.5.2. Huella hídrica verde

La huella hídrica verde es el volumen de agua de lluvia consumida durante un proceso de producción. Normalmente no tiene mucha trascendencia en procesos industriales, ya que muy pocos captan y almacenan aguas pluviales para su uso en proceso.

7.4.5.3. Huella hídrica gris

La huella hídrica gris es un indicador del grado de contaminación de agua dulce que se puede asociar a un proceso. Sería el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes, comparado con las concentraciones normales y las normas obligatorias de calidad de agua, de tal forma que se conviertan en inofensivos.

Para poder evaluar correctamente la huella hídrica en empresas industriales, es importante mencionar que, hay que tener en cuenta las diferentes unidades de la misma. (ISO 14046:2014).

7.5 ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD HÍDRICA EN EL CONTEXTO DE LOS GIROS INDUSTRIALES ESPECÍFICOS

Como ya se mencionó en el apartado 3, las industrias manufactureras pueden ser muy diversas y según el producto que fabriquen dependerá la cantidad de agua y energía que requieran y la cantidad y tipo de contaminantes que se generen en sus aguas residuales, denominadas aguas residuales de proceso. Los principales giros industriales importantes por el tipo de producto que fabrican ya también fueron mencionados en el mismo apartado. Aquí lo que es importante de mencionar es que según el tipo de procesos y el producto a fabricar se requerirán

insumos específicos y una cantidad definida de agua para el o los procesos de producción.

Las aguas residuales generadas deberán caracterizarse analizando parámetros específicos de calidad del agua de interés específico y de acuerdo con la calidad requerida o normativa exigida.

De importancia especial para la seguridad hídrica son los compuestos recalcitrantes, tóxicos y/o emergentes.

En cuanto a la generación de aguas residuales, la huella hídrica ofrece una amplia perspectiva respecto a la relación que se establece entre un producto, productor o consumidor con los sistemas de agua dulce. Es una medida volumétrica entre el consumo de agua y la contaminación, por lo cual, el agua industrial y el agua residual están presentes de manera intrínseca en el manejo del concepto.

7.6 REÚSO Y RECICLAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN LA INDUSTRIA

Como lo indica la publicación de las Naciones Unidas “Aguas residuales: el recurso desperdiciado “(Wastewater de Untapped Resource), (WWAP, 2017), se estima que en el mundo más del 80 por ciento de las aguas residuales (más del 95 por ciento en algunos países en desarrollo) se vierten al medio ambiente sin tratamiento alguno. Las consecuencias son inquietantes. La contaminación del agua en la mayoría de los ríos de África, Asia y América Latina es cada vez peor. En 2012, se registraron más de 800.000 muertes en el mundo a causa del consumo de agua potable contaminada e instalaciones para el lavado de manos y servicios de saneamiento inadecuados. Cada vez son más las zonas muertas desoxigenadas en mares, océanos y ríos a causa del vertido de aguas residuales sin tratar, lo cual afecta a los ecosistemas acuáticos y marinos en una superficie de 245.000 km², con repercusiones en la industria pesquera, medios de subsistencia y cadenas alimenticias.

Las aguas servidas siempre fueron consideradas simplemente una complicación a ser desechada, cuando no completamente ignoradas. Sin embargo, esta concepción está cambiando porque la escasez de agua aumenta en muchas regiones y se comienza a reconocer la importancia de la recolección, tratamiento y reutilización de las aguas residuales. (United Nations, 2017) y (Ole Godsk Dalgaard, et al 2016).

En el Informe Mundial sobre Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017 se demuestra que una mejor gestión de las aguas residuales implica no solo la reducción de la contaminación en las fuentes, sino también la eliminación de contaminantes de los flujos de aguas residuales, la reutilización de las aguas regeneradas y la recuperación de los subproductos útiles. Conjuntamente, estas cuatro acciones generan beneficios sociales, ambientales y económicos para toda

la sociedad, contribuyendo así al bienestar y a la salud, a la seguridad del agua y la alimentaria y al desarrollo sostenible. (UNESCO, UN-WATER 2006), (WWAP, 2017)

La importancia transversal de las aguas residuales se ve reflejada en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 dedicado al agua y al saneamiento y, especialmente, en la Meta 6.3 que propone reducir a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentar considerablemente el reciclado y la reutilización segura a nivel mundial. Aunque el considerar a las aguas residuales como un recurso es una perspectiva relativamente reciente, por ejemplo, se reconoce que el contenido orgánico de las aguas residuales puede ser un recurso para obtención de energía a través del tratamiento anaerobio; el fósforo puede ser utilizado para la producción de fertilizante con varias ventajas si se compara con la aplicación de los lodos residuales en terrenos agrícolas.

Asimismo, el agua por si sola puede ser limpiada y llevada a altos estándares de calidad que pueda reutilizarse en numerosas maneras (lavado de calles, agua para sanitarios y riego de diversos cultivos).

Asimismo, el criterio de selección respecto a la adopción de sistemas de tratamiento centralizado y descentralizado es digno de mencionarse. Debe asegurarse el diseño de la infraestructura considerando el mejor diseño costo beneficio. En áreas densamente pobladas se recomienda el diseño de una planta centralizada, mientras que en áreas rurales que normalmente no se encuentran conectadas a sistemas de alcantarillado centralizados, las soluciones de diseño descentralizado son más adecuadas.

Una instalación de tratamiento de aguas residuales municipales está diseñada para tratar agua residual doméstica y no necesariamente cuentan con equipo o sistemas que manejen efluentes de tipo industrial que en muchas ocasiones contienen sustancias peligrosas que pueden afectar negativamente los procesos biológicos de tratamiento y los sistemas de estabilización de lodos.

El pretratamiento de las aguas residuales industriales en la fuente (tratamiento en la fuente) suele tener varias ventajas: El diseño del sistema puede ser un traje a la medida para el contaminante específico que en la mayoría de los casos se encuentra en altas concentraciones y en pequeños volúmenes. Y por lo tanto podrá requerir menor inversión y costos de operación. Se recomienda la “segregación” de los efluentes”. Esto hace más fácil y efectivo el tratamiento.

7.7 OTRAS MEDIDAS DE HACER MÁS EFICIENTE EL USO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA Y REDUCIR EL ESTRÉS HÍDRICO

El compromiso social del consumo responsable de agua, no recae únicamente en las empresas, o en los productores de bienes y servicios. Dada la situación actual de los recursos hídricos, los consumidores debemos responsabilizarnos de los

productos que adquirimos y la forma en que estos impactan ambientalmente en mayor o menor medida. Es necesario tener en cuenta la huella hídrica que generan nuestras necesidades adquiridas, pero no es lo único que podemos considerar. Sumado a la cantidad de agua necesaria en los sistemas de producción, una gran cantidad de actividades cotidianas requieren cantidades de agua variables, por lo que buscar formas de hacer más eficiente el aprovechamiento de los recursos hídricos, desde las acciones que parecieran de lo más simples, pueden hacer una notable diferencia para garantizar la calidad y cantidades de agua apropiadas para las generaciones futuras.

Algunas de estas acciones pueden ser: Las buenas prácticas de ahorro del agua en la industria, la captura y aprovechamiento del agua de lluvia para diversos usos en la industria. Digna de mencionar es la acción institucional encabezada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA): la iniciativa de *WaterSense* para productos y servicios. Su misión es la transformación del mercado de productos y servicios que utilizan el agua y con la promoción de una ética nacional de eficiencia hídrica para conservar los recursos hídricos para las generaciones futuras y de reducción de los costos de infraestructura de agua y aguas residuales, es una alternativa que parte de la severa problemática mundial de la crisis del agua, en ella la responsabilidad social de la industria comienza a tener un mayor involucramiento al ofrecerle a los consumidores nuevas opciones para la toma de decisiones en lo que respecta a su consumo y por ende su conservación tanto en cantidad como en calidad. La etiqueta *WaterSense* facilita la búsqueda de productos, nuevos hogares y programas eficientes en el agua que cumplan con los criterios de eficiencia y rendimiento que establece la EPA. Los productos y servicios etiquetados por *WaterSense* están certificados para usar al menos un 20 por ciento menos de agua, ahorrar energía y funcionar tan bien como o mejor que los modelos normales. (US:EPA, 2020).

7.8 REFLEXIONES FINALES

Al medir el volumen y origen del agua que se consume en la fabricación de un producto y el volumen de agua necesario para asimilar a los contaminantes de tal manera de hacer el efluente tratado inocuo para poder reutilizarse o para cumplir los estándares correspondientes y así, lograr la seguridad hídrica en la industria, se puede apreciar cómo un producto específico que se fabrica contribuye por su grado de contaminación a la creciente preocupación por la escasez y contaminación del agua. De igual forma permite comparar los diferentes productos por su relativa contribución a estos temas críticos y de esa forma tomar conciencia y acción para mitigar y al final eliminar esta problemática minimizando su huella hídrica.

Es posible modificar o hacer cambios en los productos para reducir su efecto dañino en el medio ambiente.

Cambios sugeridos:

- ✓ Cambios en la composición del material de los productos (cambios en la materia prima sin cambios en el diseño).
- ✓ Rediseño del producto para reducir los impactos ambientales relacionados con su manufactura (menos pasos de fabricación que frecuentemente se reflejan en menores requisitos de energía).
- ✓ Rediseño del producto para que su uso tenga menor impacto en el ambiente (rediseño para hacer más eficiente su consumo de energía).
- ✓ Rediseño del producto para que sea menos nocivo para el ambiente en la fase posterior a su vida útil (más fácil de reciclar).
- ✓ Rediseño de la resistencia del producto (reemplazo menos frecuente)

7.8.1 Recomendaciones generales

Para contribuir al logro de la seguridad hídrica industrial las medidas de hidroeficiencia en la industria deben ser vistas de manera integral dentro de la planificación estratégica de la industria, con apoyo expreso y decidido de la alta dirección y acorde con la política medioambiental y de responsabilidad social corporativa de la empresa. Las empresas que usen el agua más eficientemente ahora tendrán una ventaja competitiva sobre las empresas que deciden esperar.

Un programa exitoso de hidroeficiencia debe priorizar las necesidades, establecer metas bien informadas, establecer mínimos de rendimiento, y planificar cuidadosamente un curso de acción.

También debe contemplar un seguimiento periódico y una evaluación de las metas fijadas, y fundamentalmente un responsable principal designado que trabajará con el apoyo de todos los miembros de la corporación.

Acciones específicas relativas al agua pueden ser mencionadas las siguientes:

- ✓ Conocer y controlar el consumo del agua:
 - Colocar medidores (general y para los usos más significativos)
 - Revisar la documentación de consumo.
 - Reducir el consumo del agua (Limpieza de los suelos con sistema de alta presión y bajo caudal)
- ✓ Reutilizar el agua:

- Favorecer los circuitos cerrados
 - Usar el agua contaminada para tareas que necesitan agua de menos calidad
 - Optimizar el uso de materias primas y de productos
 - Controlar los vertidos con alarmas de niveles o con un sistema de paro automático de las bombas
 - Vaciar completamente los depósitos y los aparatos antes de limpiarlos
 - Separar las aguas en función de su origen, para reducir el volumen de agua a tratar
- ✓ Reutilizar las aguas de los sistemas de enfriamiento
- ✓ Reutilizar los condensados

7.9. REFERENCIAS

- Cantú Martínez César. (2015). Ecoeficiencia y sustentabilidad. Guía de ecoeficiencia industrial. CIENCIA UANL / AÑO 18, No. 71, ENERO-FEBRERO
- Comisión Nacional del Agua (2018). Estadísticas del Agua en México, edición 2018.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México.
- Fundación MAPFRE (FM) y Asociación de Empresarios del Henares (AEDHE).
- (2011). Guía de Hidroeficiencia industrial. España.
- García Liñán, 2020. El financiero 16 enero 2020. (www.elfinanciero.com).
- GE Reports Staff: A Global Thirst: Water Use In Industry. Aug 24, 2017. <https://www.ge.com/reports/global-thirst-water-use-industry>.
- Greening of industry (2010).
- <https://www.unido.org/our-focus/cross-cutting-services/green-industry/green-industry-initiative>
- Grey, David & Sadoff, W. Claudia., (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. Water Policy 9(6) DOI: 10.2166/wp.2007.021
- Hoekstra, A. (2015). The water footprint of industry. Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability, 221-254. doi: 10.1016/b978-0-12-799968-5.00007-5
- INEGI. (2013). Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México. SCIAN 2013. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática. México.
- ISO 14046:2014. Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines. https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/Ref1859/iso14046_briefing_note.pdf.

- Martínez-Austria, P.F., Díaz-Delgado, C., Moeller-Chavez, G. (2019). Water security in Mexico: general diagnosis and main challenges. *Ingeniería del agua*, 23(2), 107-121. <https://doi.org/10.4995/la.2019.10502>
- Melgarejo M. Joaquín (2019). AGUA Y ECONOMÍA CIRCULAR. Congreso Nacional del Agua 2019: innovación y sostenibilidad. Alicante.España.
- Ortiz Díaz, A & Tavera Cardona,C.(2013). Tratamiento de agua para alimentación de calderas. .tesis . Instituto Politécnico Nacional. México.ipn
- Global Water Partnership GWP TEC n°14 (2010). Estocolmo, Suecia www.gwp.org,
- UNESCO, UN-WATER (2006): Water, a shared responsibility: the United Nations world water development report 2.Chap. 8: Water and Industry.
- Ole Godsk Dalgaard, Per Overgaard Pedersen, Per Henrik Nielsen. (2016). UNLOCKING THE POTENTIAL OF WASTEWATER. Using wastewater as a resource while protecting people and ecosystems. Version 2.0.
- United Nations. (2011). Water and Industry in the Green Economy. Information brief
UNIDO.www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Energy_and_Climate_Change/Renewable_Energy/VEF_2011/Green%20industry%20policy%20brief_Final.pdf
- United Nations. UNIDO (2011). Water and industry in the green economy.
- https://www.un.org/waterforlifedecade/green_economy_2011/pdf/info_brief_water_and_industry_eng.pdf
- United States Environmental Protection Agencia: The watersense program. <https://www.epa.gov/watersense/about-watersense>
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2015. The United Nations.World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris, UNESCO.Chap 9.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme).(2017). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado

CAPITULO 8: CAMBIO CLIMÁTICO, SANEAMIENTO Y SEGURIDAD HÍDRICA. DEL SANEAMIENTO BÁSICO AL SANEAMIENTO INTEGRAL- CASO LAGO MARACAIBO

Ing. Boris Castellano

Asociación Venezolana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
(AVISA)

Asociación para la Conservación del Lago de Maracaibo
(ACLAMA)

8.1 INTRODUCCIÓN

En un principio el **Saneamiento Básico** estuvo enfocado hacia *“La provisión de agua potable y a la recolección y disposición de las aguas servidas”*, con el correr del tiempo estos propósitos se ampliaron, dando origen al **Saneamiento Integral**, incluyendo objetivos tales como; *“La depuración de las aguas servidas para evitar la contaminación de los cuerpos receptores”*; *“El manejo y la disposición de desechos sólidos, tóxicos y peligrosos”*, y *“El entendimiento que el objetivo final del saneamiento está íntimamente ligado con el inicio de los ciclos de reuso de las aguas servidas y el reciclaje de los desechos sólidos”*. Por otra parte el adjetivo **Hídrico**, es aplicable a todo *“lo perteneciente o relativo al agua como elemento de la naturaleza”*;

El agua es un factor determinante en el desarrollo económico y social y, al mismo tiempo, cumple la función básica de mantener la integridad del entorno natural. El agua es uno de los recursos naturales vitales, por ello es imperativo que los temas hídricos no sean tratados de forma aislada. Para abordar esta complejidad de manera objetiva se ha desarrollado un nuevo y moderno concepto: **Seguridad Hídrica**.

La valoración del recurso agua como soporte de vida, está sintetizada en la siguiente expresión: “cada vez que un ciudadano nace, se necesita agua” (INOS, Venezuela 1943), agua para la vida, para la vida con salud. Esta verdad implica la urgencia de “erradicar la **responsabilidad fragmentada por el agua e integrar la gestión de los recursos hídricos a través de todos los sectores** -finanzas, planificación, agricultura, energía, turismo, industria, educación y salud” (Peña, H., 2016).

Además de la vinculación entre el recurso agua con la vida y la salud, la visión integral implica la aceptación del concepto de seguridad hídrica en todos sus aspectos sociales, económicos; en tal sentido debemos admitir que: “Un mundo con seguridad hídrica **reduce la pobreza, promueve la educación y aumenta los estándares de vida. Es un mundo en donde hay una mejor calidad de vida para todas las personas alcanzada mediante la buena gobernanza del agua.**

En las últimas dos décadas el concepto de Seguridad Hídrica se ha ido afianzando en la comunidad sanitaria y ambiental, las cuales han debatido su sentido y su concesión en términos propositivos, como se evidencia en las siguientes declaratorias:

- La seguridad hídrica puede definirse como **la provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia**, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua. (Grey y Sadoff 2007)
- Foro Económico Mundial (WEF) del 2009 consideró la seguridad hídrica como **la red que conecta todos los grandes desafíos que debe enfrentar la humanidad en las próximas décadas** (alimentación, energía, cambio climático y desarrollo económico, entre otros) (WEF, 2009).
- Para avanzar a niveles de seguridad hídrica aceptables, es necesario que las políticas públicas y el sistema institucional consideren el elevado grado de incertidumbre existente, debido tanto a la variabilidad hidrológica y cambio climático, como a la profundidad de los cambios sociales, económicos y políticos presentes. Esto supone priorizar la formulación de políticas públicas, planes y programas que sean robustos y flexibles, de modo que ellos signifiquen un avance efectivo en la seguridad hídrica considerando una amplia gama de escenarios futuros posibles. (CEPAL 2016. Humberto Peña).

Si consideramos que el agua tiene muchos usos diferentes: para la agricultura, para ecosistemas saludables, para la gente y el sustento de todas las actividades humanas, los cuales demandan, cada vez más, una gestión coordinada entre todo los actores claves identificables en todo escenario o ámbito geográfico, bien sea este de carácter muy particular, como por ejemplo una cuenca hidrográfica determinada, o espacios vinculados por razones geopolíticas, geoeconómicas o geosociales; y que mientras más compleja sea la estructura que sustenta la red de integración de los ámbitos territoriales, más compleja será la trama actoral, sin embargo siempre será posible sintetizarla, tal como se muestra a continuación (IGEZ, 2019), en función de sus jerarquías y sus roles.

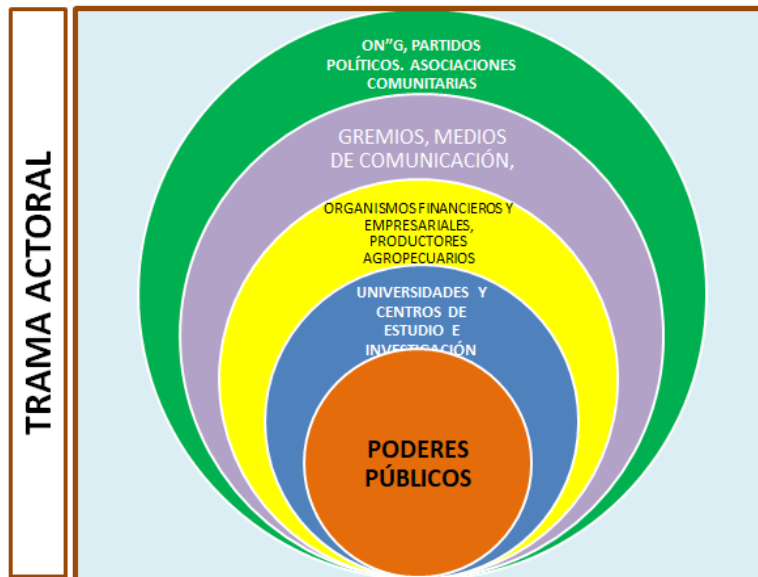


Figura 8.1. Jerarquización y rol actoral.

Cada actor tiene múltiples facetas, así por ejemplo el Poder Público, se desagrega por niveles: Nacionales, Estatales, Regionales y Locales; las Universidades y los Centros de Investigación, si bien pueden ser múltiples en un entorno determinado, tienen dos características muy particulares: ejercer el dominio del saber y ser factor de articulación entre el Poder Público y los actores que integran el Sector Privado. Las ONGs, si bien, desde el punto de vista jerárquico, son los actores más alejados del centro del poder, tienen como fortaleza la especificidad de sus funciones y la diversificación de sus contactos con la comunidad de usuarios y ciudadanos.

Los integrantes de esta trama actoral, están cada vez más comprometidos y exigidos a tomar decisiones complicadas sobre la asignación de recursos de agua, para el abastecimiento urbano, para la agricultura, para el comercio y la industria, para la generación de energía, para la recreación; todo ello dentro de un cuadro de necesidades y demandas competitivas y crecientes que deben ser satisfechas con una oferta de agua, que por sus limitaciones, reales y potenciales, impone severas restricciones al crecimiento, dentro de un cuadro de desequilibrios crecientes impulsados por el desarrollo demográfico y el cambio climático

En términos de Planificación Estratégica y Prospectiva, esta trama actoral debe integrarse, de manera gradual y progresiva en un complejo entramado de alianzas para alcanzar en forma sostenible el desarrollo económico, social y ambiental, de todos y cada uno de los ámbitos geográficos de cada región. Se trata entonces de conjugar la Gestión Integral del Agua con el cumplimiento de los objetivos del Desarrollo sostenible.

8.2 EL SANEAMIENTO DEL LAGO DE MARACAIBO Y LA SEGURIDAD HIDRICA

El caso del Lago de Maracaibo y su Cuenca, es un buen ejemplo de todo lo que tenemos que comprender, para poder alcanzar mejores estados de desarrollo social, económico y ambiental, de manera cierta y sustentable, lo cual implica adoptar un nuevo enfoque para el entendimiento y comprensión de la complejidad de las interacciones existentes entre las Necesidades de la Sociedad y la Oferta Real de Recursos, para lo cual se cuenta con una poderosa herramienta: El Enfoque Global (Castellanos, 1976), cuyo credo se recita a continuación:

*Creo en las **virtudes de los esquemas**, de **los cuadros**, de **los modelos**, de **las analogías**, de **las metáforas**, aunque todos sepamos que los esquemas son siempre falsos, las generalizaciones apresuradas, los modelos simplistas, las metáforas fáciles y las analogías peligrosas. **Pero útiles para transferir ideas y reflexiones**. En acatamiento a sus tres propósitos fundamentales: **ELEVARSE** para ver mejor, **UNIR** para comprender mejor y **SITUARSE** para actuar mejor" (Rosnay, J., 1976).*

Este cambio de enfoque implica la revisión de paradigmas tales como: Salvar El Planeta, o ayudar al Lago (BOD, 2005), abordando el tema con una nueva mirada hacia la naturaleza y una nueva mirada hacia la región que, en lugar de enfocarse en ¿Salvar?, ¿Ayudar?, o ¿Sanear?, al Lago, se concentre en Capacitar, Comprender, Concienciar y Actuar con sentido de pertenencia Ambiental y Social, en lugar de abordar los temas desde su periferia: La Región, El País, El Gobierno, La Participación Social, etc., de manera crítica y sin compromiso alguno.



Figura 8.2. Depresión de Maracaibo.

La Depresión de Maracaibo, en extensión superficial es el segundo ámbito geomorfológico de la República de Venezuela, y está definido por la herradura orográfica conformada por las sierras de Mérida, Perijá, y Ziruma, las cuales confinan el **Sistema del Lago de Maracaibo**, integrado por su: Red hidrográfica, Humedales o Ciénagas, Saco o Lago de Maracaibo, Estrecho de Maracaibo, Bahía del Tablazo, Barra del Lago y Golfo de Venezuela; este sistema está sometido a una permanente interacción de flujos y reflujos entre las aguas dulces o pluviales de la cuenca y las aguas saladas del Golfo, regulado por el comportamiento diario de las mareas, el comportamiento estacional de la pluviosidad y la capacidad de la barra de permitir la descarga de aguas dulces hacia el Golfo o la entrada de aguas saladas hacia el Lago.

Por razones geopolíticas, la Depresión de Maracaibo, tiene carácter de cuenca internacional y pluriestatal, como lo evidencia su Configuración (ICLAM/CAF, 1995)

Tabla 8.1. Características de la Depresión Maracaibo

CUENCA INTERNACIONAL DE LA DEPRESION DE MARACAIBO			
CONFIGURACION CUENCA	SUPERFICIE, Km ²		CODIGO
	TOTAL	CUENCA	
REPUBLICA DE VENEZUELA	117.700	82.035	VEN
1 ESTADO ZULIA (1)	63.100	50.230	VENZU
2 ESTADO TÁCHIRA	11.100	4.205	VENTA
3 ESTADO MÉRIDA	11.300	7.600	VENME
4 ESTADO TRUJILLO	7.400	6.000	VENTR
5 ESTADO FALCON	24.800	14.000	VENFA
REPUBLICA DE COLOMBIA	16.130	16.130	COL
6 DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER (2)	16.130	16.130	COLNS
TOTALES	133.830	98.165	

FUENTES. OCEI/ICLAM

(1) La superficie de la cuenca excluye los espejos de aguas del Lago de Maracaibo, y el Golfo de Venezuela

(2) 60% de la superficie total de la Cuenca del Río Catatumbo, 26.886 km²., s/Estudio Geográfico de la Cuenca del Río Catatumbo. FAV-1988

La cuenca presenta un patrón de ocupación del territorio: polarizado, desigual, y disperso, predominantemente urbano en la Barra de Maracaibo, con núcleos urbanos en la Vertiente Interior y en la vertiente del Golfo de Venezuela, y una comunidad rural dispersa y diseminada, agrupadas en más de 7.000 Centros Poblados, de acuerdo con la siguiente distribución:

Tabla 8.2. Distribución por vertientes y densidades

VERTIENTE	SUPERFICIE Km ²	POBLACION hab	DENSIDAD hab/Km ²
GOLFO DE VENEZUELA	17.085	361.233	21,14
BARRA DE MARACAIBO	9.875	1.431.722	144,98
LAGO DE MARACAIBO	71.205	1.972.718	27,70
TOTAL CUENCA			
VENEZUELA	98.165	3.765.673	38,36

8.2.1 Salinidad, Contaminación y Eutrofización

El análisis documental de las condiciones y las variaciones de la **Salinidad del Lago**, nos remiten al escenario de 1895, cuando se construye el Acueducto del Lago, hecho que debe ser considerado como línea base para el estudio del uso del agua del lago con fines de abastecimiento. Este acueducto presto sus servicios a la comunidad a lo largo de más de cuatro décadas, aunque las aguas, ligera y eventualmente salobres, no eran aptas para beber servían para todos los otros menesteres del hogar, funcionó hasta el 24 de diciembre de 1938, cuando se inauguró el Acueducto del Campo de Pozos de Maracaibo.

El desarrollo creciente de la actividad Petrolera en la Cuenca del Lago genera múltiples impactos, en la ocupación del territorio y en el cuerpo de aguas del lago: 1) Potenciando su **crecimiento poblacional** y de manera muy particular el crecimiento urbano de la ciudad de Maracaibo, 2) La alteración de **la cuña de agua salada** (Thompson, P.,1938)¹ propia del intercambio de flujos entre el Lago y el Golfo, causadas por las modificaciones del canal de navegación, y 3) El incremento de **la contaminación** causada por los derrames de productos industriales y aguas servidas, propias de las actividades industriales y urbanas. Es importante acotar que la contaminación causada por los derrames petroleros fue una de las causas que determinó la desincorporación del acueducto del lago, poniendo fin al uso de las aguas del estrecho del lago con fines de abastecimiento.

A partir del año 1960, los estudios de navegabilidad a través del canal, de salinidad y contaminación se multiplican y se focalizan, de acuerdo con los intereses y propósitos de los entes contratantes y de los investigadores, sin embargo se pueden identificar tres etapas bien diferenciadas:

- Desde 1920 hasta 1970, predomina el interés por la navegabilidad del canal, lapso en el cual su profundidad varió de 10 pies (1930) a 45 pies (1970)
- Desde 1970 hasta 1990, se enfatizan los estudio de salinidad y contaminación, tanto en el estrecho como en el cuerpo del lago
- Desde 1990 hasta el presente, se fortalecen los estudios integrales: navegabilidad, salinidad, contaminación, polución, nutrientes, usos del agua y aspectos sociales y económicos. Dentro de estos estudios destaca: **Nuevo Estudio del Modelado 3D del Lago de Maracaibo, MPPA/DHI, cuyo informe final fue presentado en junio del 2014**

¹ En el MODEL STUDY OF CHANEL IMPROVEMENTS AT OUTER BAR, LAKE OF MARACAIBO, Paul W.

Para una mejor comprensión del proceso de integración de los factores concurrentes, se presentan las imágenes, desagregadas y detalladas de los componentes del Sistema del Lago de Maracaibo, destacando el impacto de los riesgos de contaminación expresados en ha/km de costa.



Figura 8.3. Visualización de la Barra, la Bahía y el Canal de Navegación como elementos vinculante entre el Golfo de Venezuela y el Estrecho de Maracaibo,



Figura 8.4. Visualización de la vinculación existente entre el Estrecho de Maracaibo y el Plan de Saneamiento Integral formulado en 1986

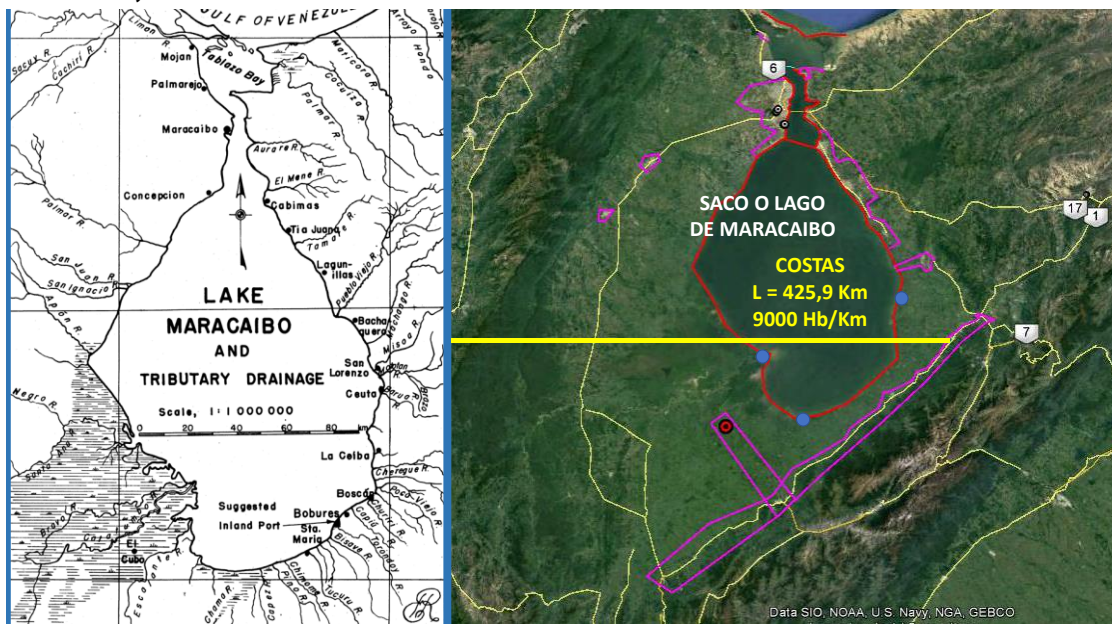
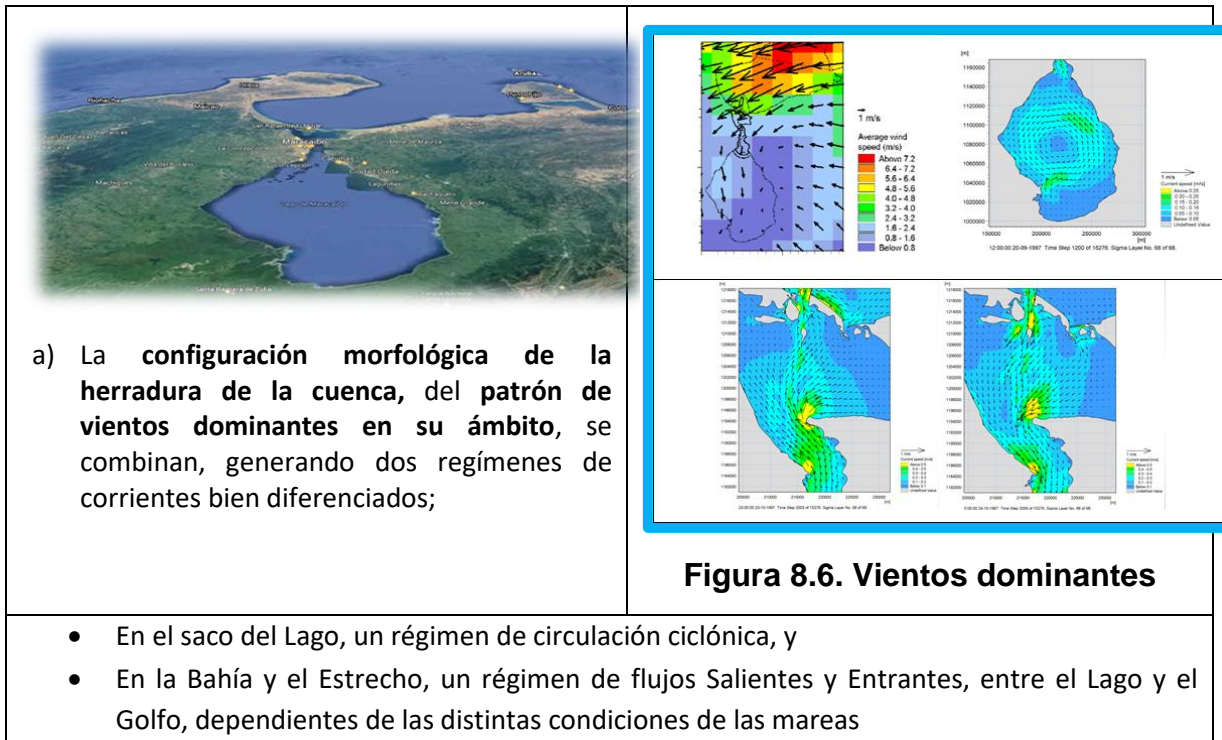


Figura 8.5. Visualización de la Red Hidrográfica y del Eje Articulador del Sur del Lago

8.3. EL MODELO DEL LAGO

Partiendo de la **configuración morfológica de la herradura de la cuenca** y del **patrón de vientos dominantes en su ámbito**, las cuales definen las características generales de la red hidrográfica, permitiendo inferir la distribución del aporte de aguas dulces al Sistema del Lago de Maracaibo y de manera muy concreta el entendimiento del agua como Soporte de Vida.



b) La cuenca presenta un cuadro de problemas ambientales, donde se destacan: 1) El impacto de la cuña de agua salada, en la salinidad y estratificación del lago, 2) El deterioro de las cuencas debido a la deforestación, 3) Los aportes de nutrientes asociados tanto a la biomasa natural como al uso excesivo de fertilizantes. 4) Los aportes puntuales de aguas servidas industriales y domésticas

c) Las variaciones de la salinidad en el estuario y en el cuerpo o saco del lago, destacando los siguientes hitos:

- **Corps of Engineers, U.S. Army 1938.** Model study of channel improvements at outer bar, Lake of Maracaibo, Venezuela. En este estudio se destacan que “Durante la estación lluviosa: agua dulce al norte de I. San Carlos; y, durante la Estación seca: El agua salada llegaba al Tablazo, pero no formaba cuña salina. Las densidades en la superficie y fondo eran iguales.”

- **Mediciones de Earslton & Doe, 1957**
- **Salinidad s/Redfield & Doe, 1964**
- Existe una vinculación evidente entre las variaciones de la salinidad y la configuración del Canal de Navegación y sus modificaciones más significativas desde 1938 hasta 1963, las cuales, en términos de “Profundidad del Canal”, permiten identificar los siguientes hitos: a) Canal Natural hasta **1938**, 7,5 pies y 14 pies (2,3-4,3m); b) En **1938** se draga a 19 pies (5,75 metros), c) entre **1953** a **1956** se llega a una profundidad de 33.5 pies (10,1 metros), y d) entre **1957** a **1963** se profundiza a 45 pies (13,6 metros).

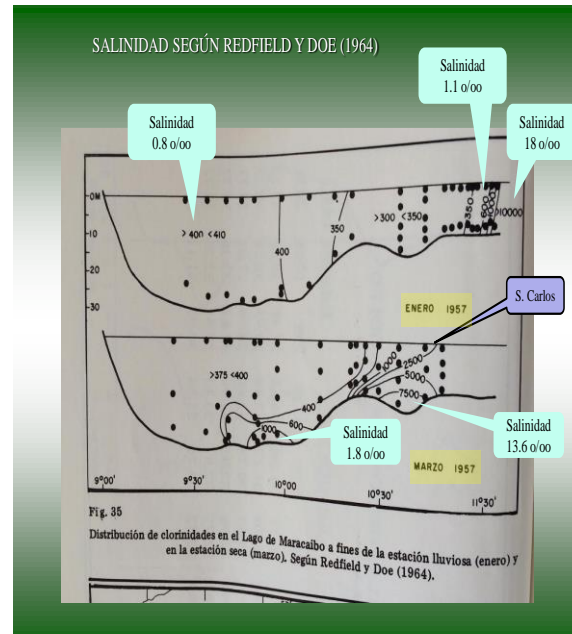


Figura 8.7. Salinidad Lago Maracaibo

- d) En las riberas de la bahía y del estrecho desde 1938 hasta la fecha se han registrado incrementos significativos de la salinidad (Bautista et al 1997) que han determinado su desestimación como fuente segura de agua para consumo humano y limitado sus usos para riego de acuerdo a la interacción entre salinidad y riego, lo cual implica dar respuesta a todo un cuadro de interrogantes: ¿Qué queremos o que nos gusta cultivar? ¿Qué podemos o que debemos cultivar? Lo cual define el potencial del uso de las aguas del lago con fines y propósitos agrícolas.

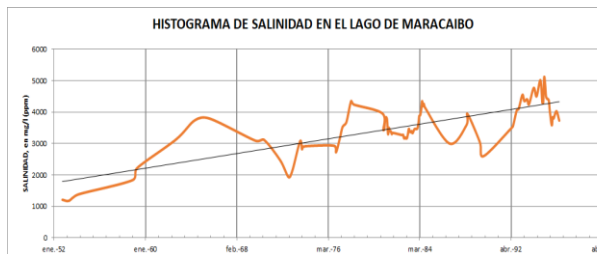


Figura 8.8. Variación de la Salinidad en el Estrecho

	< 500 ppm	Utilizable para todo tipo de riego
500 a	1000 ppm	Utilizable para la mayoría de los riegos
1000 a	1500	Poco contenido de cloruros, apta para la mayoría de los riegos, salvo variedades delicadas
1500 a	2000	
2000 a	2500	Alto contenido de cloruros, utilizable para ciertos cultivos
2500 a	3000	
3000 a	4000	Muy alto contenido de cloruros

Figura 8.9. Correlación entre la salinidad y el tipo de cultivo

En el año 2012, el Ministerio de Ambiente suscribió un convenio con la empresa Danesa **DHI Software**, para realizar el **Nuevo Estudio del Modelado 3D del Lago de Maracaibo**, cuyo reporte final fue presentado en el 2014". Este Modelo, denominado, Mike 3 FM, está configurado por una Malla Horizontal conformada por elementos triangulares: 2-4 Km en el Golfo y el Lago; 250-300 m en el estrecho y bahía. Elementos cuadrados en el Canal de Navegación, han permitido identificar el impacto combinado de los factores contaminantes en los procesos de salinidad y eutrofización del lago. Dentro de los resultados del Modelo, cabe destacar las siguientes premisas y conclusiones.

- a) En el entendimiento y comprensión del impacto de profundización de canal en la salinidad, se habían considerado dos escenarios para simular las variaciones de la salinidad: **Condición de Referencia** (asumiendo una batimetría igual a la actual, 1963/2012) y **Condición de Pre dragado** (asumiendo una batimetría igual la existente antes de intervenir el canal de navegación), manteniendo las cargas actuales de cargas de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) al sistema del Lago de Maracaibo, cuyos resultados se presentan a continuación.

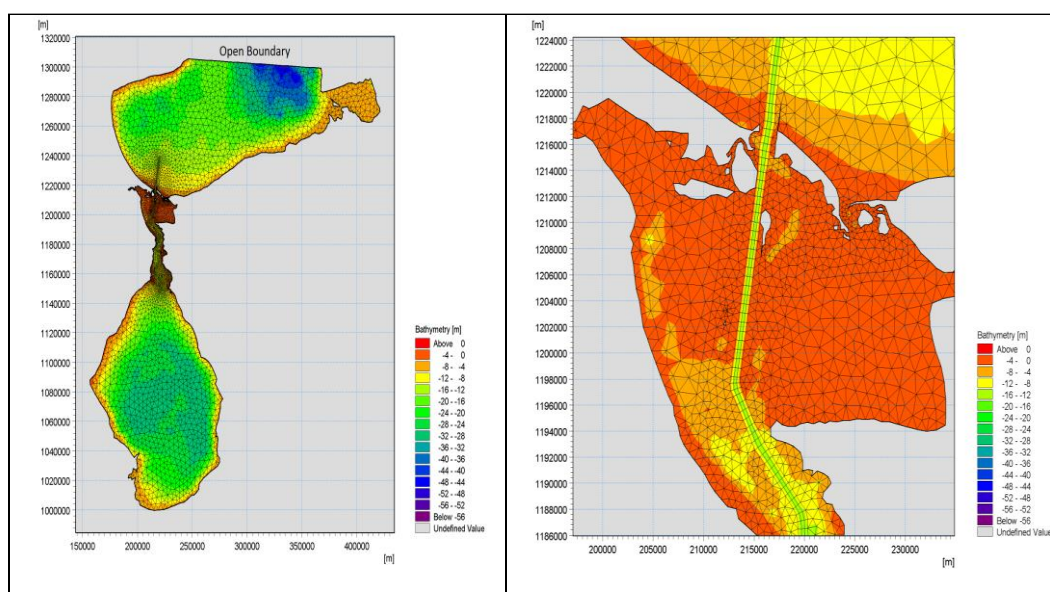


Figura 8.10. Batimetría Lago Maracaibo

- b) Desde el punto de vista ambiental, el factor más dominante en, términos de contaminación, está representado por la HIPEREUTROFIZACION DEL LAGO asociada a la entrada de nutrientes en términos de Nitrógeno y Fosforo, la cual de acuerdo a los resultados del Modelo se tabulan a continuación en Ton/año.

Tabla 8.3. Entrada de nitrógeno y fosforo

FUENTES	TN (Ton N/año) / Peso en %	TP (Ton P/año) / / Peso en %
Rios	69.600 / 79%	15.600 / 93%
Descargas Puntuales	2.400 / 3%	400 / 3%
Atmosféricas	15.800 / 18%	700 / 4%
TOTALES	67.800 / 100%	16.700 / 100%

- c) La eutrofización, se potencia en la medida que el cuerpo del lago, deja de ser mezclado y se convierte en un lago estratificado, con disminución de los niveles de oxígeno, en las capas más profundas, y acumulación de nitrógeno amoniacal en el fondo y en el lecho del lago, lo cual ha generado zonas anóxicas que han alcanzado hasta el 30% del volumen del cuerpo de agua.

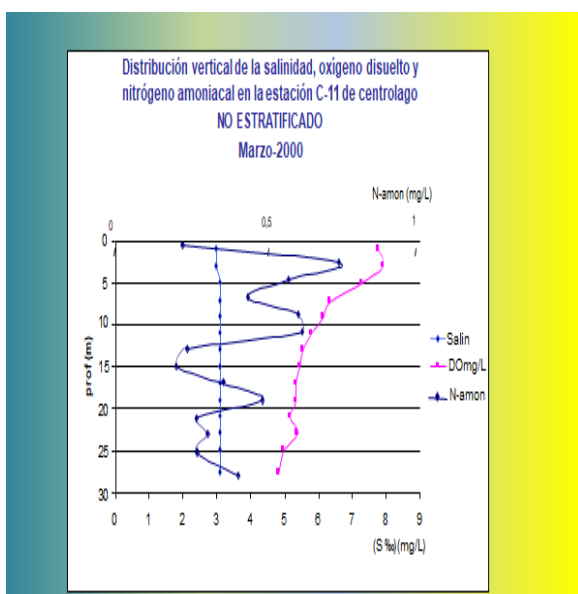


Figura 8.11. Distribución vertical no estratificada de la salinidad, oxígeno disuelto y nitrógeno amoniacal

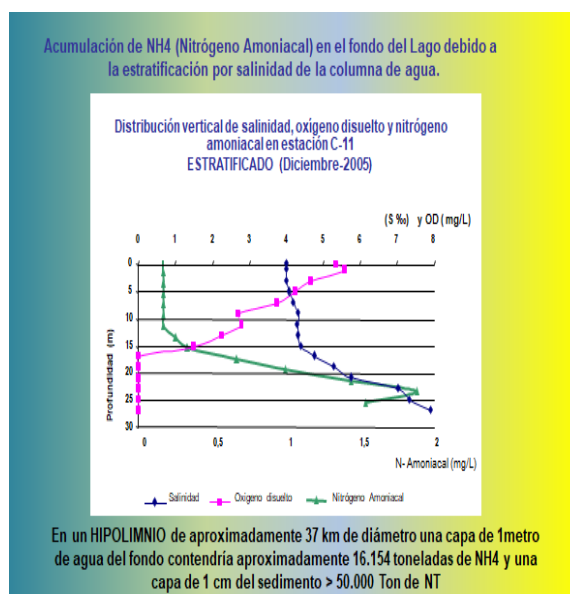


Figura 8.12. Distribución vertical Estratificada de la salinidad, oxígeno disuelto y nitrógeno amoniacal

El desarrollo del modelo, en términos integrales, incluyó un escenario de reducción de cargas, referidos a una reducción del 10% de las cargas aportada por los ríos, con relación a las condiciones actuales y al tratamiento terciario de las aguas residuales en todas las fuentes puntuales. Finalmente se desarrollaron corridas del modelo combinando los escenarios de pre-dragado y reducción de cargas

A continuación se presentan los resultados comparados de los distintos escenarios arrojados por el modelo en términos de valoración de los procesos Oxidación, Desnitrificación, y Sulfatoreducción.

Tabla 8.4. Comparación de los procesos de Oxidación, desnitrificación y sulfatoreducción

Masa total en el lago	Referencia	Pre - dragado	Reducción de Cargas	Pre – dragado más Reducción de Cargas
OD (10^9 kg)	1.00	1.16 (+16%)	1.03 (+3%)	1.20 (+20%)
NO ₃ (10^7 kg N)	2.06	3.75 (+82%)	1.65 (-20%)	2.99 (+45%)
H ₂ S (10^7 kg)	5.55	1.13 (-80%)	5.43 (-2%)	1.12 (-80%)

La mejor interpretación de los resultados del modelo permitió inferir el siguiente cuadro de soluciones, para “recuperar la salud del lago e incrementar la seguridad hídrica en todos los ámbitos de las cuencas vinculadas con el Sistema del Lago de Maracaibo”.

- Permitir y favorecer la "Sedimentación natural del canal de navegación, hasta alcanzar las condiciones de Pre-dragado". Este escenario, al reducir la entrada de agua salina en el lago, disminuye de manera sensible los niveles de salinidad. Un cuerpo de agua, cada vez menos estratificado y, por consiguiente, mas mezclado es un lago mas sano, menos eutrofico, sin zonas anoxicas, lo cual promueve la denitrificación, disminuyendo los niveles de nitrógeno amoniacal, la reduccion de las cianobacterias y la fijación de Nitrogeno en el lecho del lago.
- Desarrollar Planes y Programas de Manejo integral de las Cuencas, con el proposito de reducir las cargas de nutrientes, aportadas por los rios, lo cual implica la adopcion de medidas para controlar los niveles de fósforo y nitrógeno.
- Recuperación, fortalecimiento y expansion de los sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales, privilegiando el reuso de las aguas sobre los beneficios sanitarios.
- Optimizar las operaciones de los sistemas de produccion, manejo y transporte de los hidrocarburos, con mas y severos procesos de control y correccion de fugas. Atencion especial debe darse a la prevencion y manejo de los derrames de petroleo.
- Se deben implementar programas de investigación aplicada para "reducir las descargas de fósforo mediante el control de los aportes de la actividades agrícola, de producción animal y agroindustrial", Es importante acotar que al reducir el afloramiento de cianofitas mediante la reducción del

N amoníacal se limita también la disponibilidad de fósforo en formas químicas solubles y así se controla la asimilación de fósforo por las cianofitas. Hay que tener en cuenta que las formas insolubles de fósforo se inmovilizan y acumulan en los sedimentos, razón por la cual el control de los sedimentos acumulados en las cienagas y los humedales es una de las áreas que requiere la más pronta apertura a los procesos de investigación.

- Las políticas, los planes y los programas de saneamiento, son importantes para la generación del escenario de reducción de carga, y si bien es cierto que ellos no impactan la hidrodinámica, ni la salinidad del lago, si tienen reflejos en "la salud de las zonas costeras, principalmente en el estrecho de Maracaibo y en la Bahía de el Tablazo.

La Asociación Civil para la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ACLAMA)², en agosto del 2018, presentó un documento a la opinión pública, en el cual, de manera razonada, y en conocimiento del cuadro de las presiones antrópicas, resultante de todo el compendio de actividades, Económicas y Sociales, impropiedades desarrolladas. a lo largo de su existencia en sus cuencas hidrográficas, lo cual ha generado un proceso de degradación sostenida de su capital natural y conscientes de los riesgos asociados al deterioro de sus condiciones de saneamiento y a la cada vez menos estable SEGURIDAD HÍDRICA, lanzó un alerta sobre la salud del lago, enfatizando que ***"Todo lo que se continúe haciendo para afectarlo, o dejemos de hacer para que eso continúe, pasará factura y nuestras futuras generaciones serán las que peores sufrimientos percibirán por esta falta de acción de hoy"***.

En la Declaración de Aclama, se recrean y se sintetizan todos impactos, en términos ambientales, causados por las: 1) Las actividades agrícolas y pecuarias desarrolladas en la cuenca, las cuales aportan altas y sostenidas cargas de nutrientes tales como fósforo y nitrógeno, y de otros contaminantes que son productos del uso de fertilizantes y plaguicidas en las partes altas de la cuenca. 2) La actividad petrolera, la cual aporta importantes cantidades de desechos industriales, además de generar ocasionales derrames de hidrocarburos, tanto en el Lago como en tierra, que afectan sensiblemente el ecosistema. 3) Las actividades humanas, tanto en el Medio Urbano como el Medio Rural, las cuales aportan también importantes cantidades de desechos sólidos domésticos e industriales que llegan, a través de los ríos y cañadas al cuerpo lacustre, y los caudales de aguas residuales domésticas, que deben ser tratadas de manera adecuada antes de su disposición final al Lago. 4) Las actividades agroforestales, que degradan su

² creada en el año 2004. con el propósito de, "promover acciones orientadas en pro del Desarrollo Sustentable de la Cuenca del Lago de Maracaibo, privilegiando las de índole educativas y de divulgación de conocimientos científico-técnicos"

superficie boscosa, afectando tanto la confiabilidad de sus recursos hidráulicos como la generación de sedimentos; situación que se agrava en las cuencas productoras de los embalses existentes destinados al Abastecimiento de Agua, y 5) Las actividades comerciales, que indirectamente inciden en el incremento la salinidad del Lago, al aumentar la entrada de la cuña de agua salada, a través del Canal de Navegación, propiciando su estratificación y su secuela de impactos nocivos.

Considerando que, en el ámbito de la Cuenca de la Depresión de Maracaibo, todos los organismos e instituciones, públicos y privados, que integran su trama de actores, tienen la responsabilidad histórica de llegar a un acuerdo que le ponga punto final a la confrontación estéril y al ejercicio continuado de la diatriba política: y que la sociedad en su conjunto tiene la co-responsabilidad de prepararse, participar, promover y aportar en la construcción, gestión, ejecución, seguimiento, monitoreo y control social. ACLAMA, considera necesario que los responsables de la gestión pública se comprometan a Forjar un “acuerdo básico de gobernabilidad” que promueva el mayor grado de autonomía a todos los niveles de la estructura de los estados de la Cuenca y de la Región en general.

Se trata entonces de transformar el interés de todos los integrantes de la trama actuarial y la comunidad de usuarios y pobladores de la cuenca, en la formulación de un **PLAN DE DESARROLLO INTEGRAL DE LA CUENCA SOCIAL DE LA DEPRESION DE MARACAIBO, soportada por dos líneas de acción, que se integran y se complementan: El SANEAMIENTO Y LA SEGURDAD HIDRICA.**

8.4. BIBLIOGRAFÍA

- AT OUTER BAR, LAKE OF MARACAIBO, Paul W. Thompson. 1938,
- Conferencia dictada por el Ing. B. Castellanos en el Centro de Ingenieros del Estado Zulia. 2009. “Transito del Enfoque Global, 1976, al 5º paradigma”
- Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. CEPAL/Humberto Peña. 2016
- El Macroscopio, Joel de Rosnay 1976
- Exposición de Motivos para la creación del Instituto Nacional de Obras Sanitarias, INOS, Venezuela 1943
- GIRH *Integrated Water Resources Management in Action*. WWAP, DHI Water Policy, PNUMA-DHI Centro para el Agua y el Medio Ambiente. 2009
- Guía Ilustrada para ayudar al Lago de Maracaibo. BOD. 2005

- La Gestión del Agua, la Seguridad Hídrica y la Adaptación al Cambio Climático: Efectos Anticipados y Respuestas Esenciales. CLAUDIA SADOFF y MIKE MULLER
- MODEL STUDY OF CHANEL IMPROVEMENTS Esquema deducido del “Plan Prospectivo Zulia 2040. GOB ZU / IGEZ, 2019
- Proceso de salinización en el Lago de Maracaibo. Susana. Herman de Bautista et al 1997

CAPITULO 9: CAMBIO CLIMÁTICO: LA EXPERIENCIA CHILENA PARA SUPERAR SITUACIONES DE DESASTRES EN LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y AGUAS SERVIDAS

Ing. Alex Chechilnitzky
Chile

9.1 INTRODUCCIÓN

Chile es un país que, recurrentemente, es afectado por diversos fenómenos naturales que provocan desastres o catástrofes masivas que afectan seriamente a la población, a la infraestructura y al medio ambiente.

9.1.1 El marco general

Por sus características geomorfológicas y ubicación geográfica, en Chile son frecuentes los terremotos, maremotos, erupciones volcánicas y, últimamente, por los efectos del cambio climático, se han sumado prolongadas sequías que afectan la seguridad hídrica para el consumo humano y de los sectores productivos. Por otra parte, el patrón de lluvias también ha cambiado, ocurriendo en forma ocasional intensas precipitaciones, especialmente en zonas tradicionalmente áridas. Estas precipitaciones intensas provocan grandes deslizamientos o aluviones, afectando los centros poblados y la infraestructura pública, entre ellas, las destinadas a la producción de agua potable y recolección de aguas servidas. Por último, los servicios de agua potable también han sido afectados por acciones antrópicas, respecto de las cuales es necesario adoptar medidas para su prevención, minimización y control.

Para enfrentar estas catástrofes, Chile dispone actualmente de un sistema nacional de gestión de riesgos de desastres. Para ello, se creó en el año 2002 la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI)³, dependiente del Ministerio del Interior y Seguridad Pública. La ONEMI tiene por funciones asesorar, coordinar, evaluar y controlar el ejercicio eficiente de la gestión del Estado en la planificación y coordinación de los recursos públicos y privados destinados a la prevención y atención de emergencias de origen natural o provocadas por la acción humana.

Así, el país cuenta con un Sistema Nacional de Protección Civil⁴ y de un Plan Nacional de Emergencia⁵. El primero tiene como objetivo disponer de una planificación multisectorial en materia de protección civil destinada al desarrollo de acciones permanentes para la prevención y atención de emergencias, a partir de

³Ver www.onemi.cl

⁴Decreto N°156, del año 2002, del Ministerio del Interior.

⁵Decreto N°1.434, del año 2017, del Ministerio del Interior.

una visión integral de manejo de riesgos. El segundo es un instrumento de carácter indicativo que establece y coordina las acciones de respuesta de los organismos, entidades o personas integrantes del Sistema Nacional, ante la ocurrencia de cualquier situación de emergencia, desastre o catástrofe. Los servicios sanitarios son parte del Plan Nacional de Protección Civil.

9.1.2 Principales fenómenos que han afectado o están afectando a los Servicios Sanitarios de Chile en la última década.

El propósito de esta presentación es exponer algunos casos ilustrativos que han impactado en forma relevante, tanto la infraestructura pública como privada, y específicamente, la de los servicios de agua potable y alcantarillado, describiendo las emergencias producidas, las medidas adoptadas para lograr reponer y/o mantener la continuidad de los servicios y las enseñanzas dejadas en cada caso. Para estos efectos, se seleccionaron los eventos que se indican a continuación:

9.1.1.1 Eventos naturales

- Terremoto y maremoto en la zona central del país, en el año 2010.
- Aluviones en la Región de Atacama, en el año 2015.
- Casos de sequía y déficit hídrico:
 - En la ciudad de Copiapó
 - En la ciudad de Santiago
 - En la Región de Valparaíso

9.1.2.2. Eventos de origen antrópico

- Contaminación de agua potable en Santiago, por derrame de kerosene.
- Contaminación de agua en Osorno, por derrame de petróleo diésel.

9.2 EVENTOS NATURALES

9.2.1 El terremoto y maremoto del año 2010

El 27 de febrero del año 2010, a las 3:34 de la madrugada, un sismo de magnitud 8,8 de la escala de Richter afectó a la zona central de Chile. El sismo abarcó a 6 de las 16 regiones en que se divide administrativamente el país (de la V a la IX Región, incluyendo la Metropolitana de Santiago). El sismo tuvo una duración de 2 minutos y 45 segundos, ubicándose entre los 10 terremotos más potentes registrados hasta ahora por la humanidad. El epicentro del movimiento telúrico fue la localidad costera de Cobquecura, ubicada en el límite de las regiones VII y VIII, abarcando una extensión de varios cientos de kilómetros.

En las horas posteriores al terremoto y como consecuencia del mismo, se produjo un maremoto que abarcó toda la costa central del país. El maremoto afectó fuertemente hasta el archipiélago de Juan Fernández, ubicado a 670 kilómetros del litoral continental.

Dado que la zona central es la más poblada del país, resultó afectada una población cercana a los 12 millones de habitantes (70% del total), con aproximadamente 500 mil viviendas dañadas y 2 millones de damnificados, como se muestra en la figura 9.1.



Figura 9.1. Edificios afectados por el terremoto.

Las consecuencias inmediatas del terremoto fueron la muerte de personas por derrumbes de viviendas. El caso más llamativo fue la caída de un edificio de departamentos de 15 pisos, en la ciudad de Concepción, por falla en sus cimentaciones. Este edificio tenía un año de haber sido construido y el colapso dejó 8 personas fallecidas y más de 70 heridas. A esto se sumó un corte generalizado de la energía eléctrica, por daños en algunas centrales de generación y caídas de torres de líneas de transmisión. Adicionalmente, varios caminos y carreteras quedaron intransitables, por roturas de puentes o grietas en los pavimentos. Además, inmediatamente después del terremoto, se interrumpió el servicio telefónico de línea, debido a la caída de postes y cortes de cables. El servicio telefónico celular continuó operando, pero con dificultades de comunicación por la natural congestión de llamadas⁶. Luego dejó de funcionar, cuando se agotaron las baterías de las antenas repetidoras, que habían quedado sin suministro de energía eléctrica.

Las mayores pérdidas de vidas humanas, sin embargo, no se debieron al terremoto sino al posterior maremoto. Por una descoordinación inter-institucional, fue erróneamente informado al público que se descartaba su posibilidad de ocurrencia. Luego el maremoto tomó a las poblaciones costeras totalmente desprevenidas. Esta descoordinación inter-institucional fue una de las principales lecciones aprendidas que dejó el movimiento sísmico, incorporándose sus

⁶ Una recomendación formulada por las empresas de telefonía celular, que fue rápidamente internalizada por la ciudadanía en emergencias posteriores, fue el uso del sistema SMS en lugar de llamadas de voz, lo que permite descongestionar considerablemente los servicios de comunicación.

enseñanzas en los actuales protocolos de alerta, evacuación e información al público en casos de emergencias.

9.2.2. Efectos del terremoto en los servicios sanitarios

Los servicios sanitarios son prestados en Chile, en el sector urbano, por concesión a empresas privadas, las cuales son fiscalizadas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

En el sector rural, los servicios de agua potable son construidos por el Estado y luego es entregada su operación y mantenimiento a las propias comunidades beneficiadas. La supervisión del funcionamiento de los servicios rurales la realiza la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas (MOP), la cual les presta asesoría y asistencia técnica a través de las empresas sanitarias regionales⁷.

Como consecuencia inmediata del sismo, los servicios de agua potable y alcantarillado se vieron interrumpidos, tanto por los daños estructurales que sufrieron, como por resultado de los cortes de energía eléctrica que ocurrieron en forma inmediata al terremoto. Los servicios de agua y alcantarillado de las localidades costeras de la zona central del país también fueron impactados por el maremoto.

Resultaron con daños relevantes en el sector urbano, 35 plantas de producción de agua potable y 64 sistemas de distribución; y 55 sistemas de alcantarillado y 46 plantas de tratamiento de aguas servidas. En el sector rural, 422 servicios de agua potable sufrieron daños de consideración en sus instalaciones.



Figura 9.3. Estanque de Valdivia de Paine



Figura 9.4. Emisario de Penco/Lirquén
(600 mm)

⁷Esta modalidad está siendo modificada por la ley N° 20.998, de 2017, que regula los servicios sanitarios rurales, que aún no está vigente, pero que establece que la asistencia técnica será prestada directamente por la DOH.

Las regiones afectadas con mayor gravedad en su infraestructura sanitaria fueron las de Biobío (VIII) y del Maule (VII).

En la región del Biobío hubo 72 megacortes de tuberías alimentadoras de más de 800 mm de diámetro, los que pudieron ser reparados en un plazo de 2 semanas. La principal planta de tratamiento de agua potable de la VIII Región, resultó con varias de sus estructuras agrietadas, principalmente sus decantadores. Sin embargo, pudo ser retomado su funcionamiento con reparaciones de emergencia al día siguiente del terremoto. La Mochita atiende cuatro ciudades, incluyendo la capital regional, Concepción.

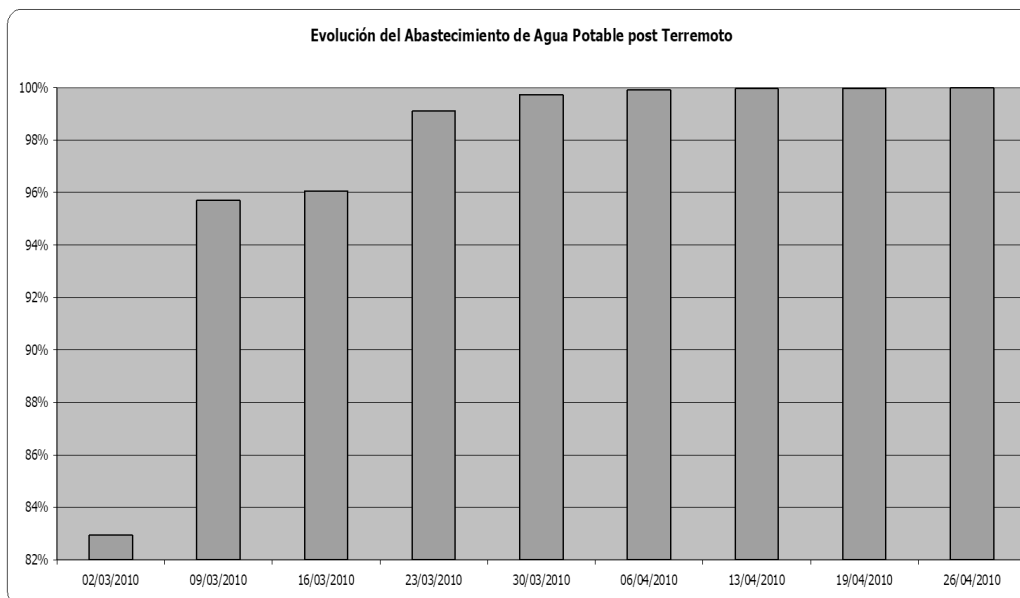
9.2.3. Reposición de los servicios de agua potable y alcantarillado

Uno de los principales problemas para el restablecimiento de los servicios sanitarios fue la carencia de energía eléctrica para el funcionamiento de los equipos. En el Biobío, a pesar de que la empresa operadora de los servicios (ESSBIO S.A.) disponía de generadores de más de 50 MW de respaldo, ellos no fueron suficientes para suplir la electricidad necesaria, por las dificultades para conseguir combustible.

La primera prioridad establecida por las empresas operadoras fue reponer la producción de agua potable, para luego continuar con la reparación de las tuberías matrices y redes de distribución. Se aumentaron las cuadrillas de emergencia, solicitándose ayuda a contratistas de otras regiones. Algunas piezas para reparaciones debieron ser transportadas en helicóptero, siendo que en algunos casos el costo del vuelo resultó ser mayor que el de los repuestos transportados.

Como resultado de los trabajos de reparación de los daños, la primera semana después del terremoto y maremoto, los servicios pudieron ser restablecidos en todas las regiones para un porcentaje importante de la población. Una excepción fue la ciudad de Concepción, donde las demoras fueron mayores. A tres semanas del sismo, el servicio de agua potable fue habilitado para un 85% de la población. En la quinta semana, el 95% de la población tuvo repuesto el servicio y en la décima semana, el suministro de agua fue recuperado para el 100% de la población.

La gráfica 8.1 siguiente muestra la evolución de la reposición de los servicios de agua potable, a nivel nacional.



Gráfica 9.1. Avance en la reposición de servicios de agua a nivel Nacional.

Cabe destacar la meritoria reacción de los trabajadores de la empresa ESSBIO S.A. y Nuevosur S.A. (prestadora de los servicios en la VII Región). En la mañana misma luego de ocurrido el terremoto, se trasladaron por sus propios medios a sus puestos de trabajo, incluso aquellos que habían sufrido daños en sus viviendas. La empresa, por su parte, retribuyó este esfuerzo apoyando a las familias de los trabajadores damnificados, quienes pudieron retomar sus labores con mayor tranquilidad.

Por otra parte, la población fue permanentemente informada por las empresas respecto de la magnitud de los daños y de los avances en las reparaciones, utilizando los medios de comunicación que estaban disponibles, incluido el twitter.

9.2.4. La actuación del Ministerio de Obras Públicas en el sector rural

En la actualidad existen en Chile 1.897 servicios de agua potable rural, que abastecen a una población estimada en 1.740.000 habitantes. En la zona del sismo existían 1.099 servicios. Inmediatamente de producido el terremoto, la Dirección de Obras Hidráulicas se abocó a diagnosticar en detalle los daños producidos, catastrando un total de 761 servicios con fallas de diversa magnitud o naturaleza. Entre las fallas se destacaron: caídas de estanques de regulación, roturas de tuberías matrices, derrumbes de casetas de comandos y otras estructuras.



Figura 9.5. Estanque de agua dañado.

Los servicios que presentaron fallas menores fueron reparados por las propias comunidades operadoras de los sistemas, en tanto que otros 422, que resultaron afectados con daños mayores, fueron incluidos en un plan especial de reconstrucción contratado por el Ministerio de Obras Públicas, siendo normalizados en forma paulatina, dependiendo de la magnitud del daño, culminando el restablecimiento de la totalidad de ellos en un plazo de 10 meses. En el intertanto, el suministro de agua a la población fue prestado con soluciones de emergencia, incluyendo el abastecimiento con camiones aljibe.

Como resultado del terremoto, la Dirección de Obras Hidráulicas editó un folleto que fue distribuido a todos los servicios de agua potable rural, con instrucciones básicas a seguir en caso de ocurrencia de un desastre⁸. Aguas Andinas, empresa prestadora de asistencia técnica a los servicios rurales de la Región Metropolitana, contrató una asesoría para la elaboración de nuevos diseños de los planos tipo de estanques de mayor tamaño, los que fueron donados por la empresa al MOP. Posteriormente, la DOH contrató a los mismos consultores para elaborar planos tipos de estanques de menor volumen y diferentes alturas de torres. Adicionalmente, se acordó estudiar la alternativa de construir estanques semi-enterrados con bombas de frecuencia variable, en lugar de tanques elevados; y en el caso que ello no fuera económicamente factible, se recomendó construir los estanques elevados con un radio de protección acorde con los nuevos diseños más seguros.

9.3. ALUVIONES EN LA REGIÓN DE ATACAMA, EL AÑO 2015

En el mes de marzo del 2015, específicamente los días 24 y 25, un frente frío en altura y una isoterma sobre los 4 mil metros de altitud, provocó importantes e inusuales precipitaciones de agua lluvia sobre las regiones de Antofagasta,

⁸Ver página WEB: www.doh.cl.

Atacama y Coquimbo, en el norte de Chile. Particularmente, las copiosas lluvias caídas sobre el seco suelo de la pre-cordillera de Atacama, sumado a la alta isoterma, activaron extraordinariamente las cuencas de los ríos Salado y Copiapó y sus afluentes, generando 17 aluviones que avanzaron por las quebradas y valles, impactando e inundando los centros poblados ubicados en las cercanías de los cauces.

Resultaron afectadas la ciudad de Copiapó, capital de la región, y las localidades de Tierra Amarilla, Inca de Oro, Diego de Almagro, El Salado y Chañaral, que en conjunto representan más de un 70% de la población regional, ascendente a unos 200.000 habitantes.

El resultado de esta tragedia contabilizó 31 víctimas fatales, 16 desaparecidos y 35.086 damnificados que quedaron sin viviendas, ya sea destruidas totalmente o con severos daños.

Los aluviones dejaron aisladas las localidades de Tierra Amarilla, Inca de Oro, Diego de Almagro, El Salado y Chañaral. La ciudad de Copiapó resultó en gran parte inundada, con cortes prolongados en los servicios básicos, pérdidas en la infraestructura base y la actividad comercial e industrial detenida.

Gran parte de la infraestructura sanitaria quedó fuera de servicio por inundación o embancamiento, o simplemente fue arrasada por el paso de los aluviones; entre ellas: fuentes de agua potable, conducciones, redes de agua potable y alcantarillado, plantas de tratamiento de aguas servidas y emisarios. En síntesis, los daños que afectaron los servicios de agua potable y alcantarillado en la región provocaron una de las emergencias más devastadoras de las que se tenga registro en el país.



Figura 9.6. Planta elevadora de agua potable Galleguillos



Figura 9.7. Cámara de colector embancado en Copiapó

Por esta razón, se debió decretar estado de excepción constitucional para abordar la emergencia, el que se extendió hasta el 20 de mayo del 2015. Esta excepción permitió coordinar las tareas necesarias para reponer la normalidad en la Región; entre ellas, la restitución de los servicios básicos de agua potable y recolección y tratamiento de aguas servidas en las localidades afectadas.

En el caso de Copiapó, el servicio de alcantarillado resultó con más de 170 km de colectores obstruidos. Además, resultaron destruidas plantas elevadoras de agua potable y de aguas servidas y se destruyeron impulsiones de producción de gran diámetro. En otras localidades resultaron arrasados los sistemas de producción y conducción, las redes de agua potable y alcantarillado, así como plantas de tratamiento de aguas servidas, incluyendo el completo embancamiento del emisario costero de la localidad de Chañaral.

A la empresa prestadora de los servicios sanitarios en la Región de Atacama, Aguas Chañar S.A., dada la magnitud y gravedad de los daños, le fue imposible abordar por sí sola la atención de la emergencia. Por este motivo, el Gobierno Nacional estableció una fuerza de apoyo con las demás empresas sanitarias del país, aplicando los principios de ayuda mutua y el uso escalonado de recursos, dando paso a que el trabajo de muchos organismos estuviera orientado a una meta común: reponer lo antes posible los servicios de agua potable y alcantarillado a la población.

De este modo, adicionalmente a los recursos dispuestos por Aguas Chañar S.A., se incorporaron los aportes de empresas que integran la Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios - ANDESS (Aguas Andinas, ESVAL, ESSBIO, Aguas del Valle), quienes colaboraron en la rehabilitación de los servicios, aportando equipamiento, profesionales y personal operacional especializado. También, la empresa estatal dueña de la concesión, en la Región de Atacama, Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios - ECONSSA, y el Gobierno de Chile, a través de sus diferentes instituciones, aportaron recursos profesionales y equipos. De esta forma, se desarrolló una labor conjunta y sistematizada, que implicó organizar el trabajo de instituciones, equipos y personal, en razón de una planificación estratégica y de una coordinación fina en terreno, para dar respuesta efectiva a la emergencia.

Todos estos esfuerzos mancomunados hicieron posible que, el 31 de diciembre de 2015, el 100% de la población de las ciudades y localidades de la Región, tuviera normalizados sus servicios básicos; vale decir, servicio de agua potable en forma continua 24 horas al día, a través de las redes de distribución y lo mismo para el servicio de alcantarillado.

9.4. SEQUÍA Y DÉFICIT HÍDRICO

Chile está siendo afectado, desde hace varios años, por una crisis de recursos de agua disponibles para el abastecimiento humano. Esta crisis es causada principalmente por una prolongada sequía que ha afectado a diversas zonas del país, así como por una sobreexplotación de los recursos hídricos existentes. Esto ha implicado algunas situaciones extremas que se exponen a continuación, que se han debido enfrentar para asegurar la continuidad de los servicios de agua potable.

9.4.1 Caso de la ciudad de Copiapó

Una situación ilustrativa de este problema es la de la ciudad de Copiapó, capital de la III Región. El servicio lo presta la empresa Aguas Chañar a una población cercana a los 200 mil habitantes. La ciudad se sitúa en la zona centro norte del país, donde se ubica el desierto de Atacama, uno de los más áridos del mundo. El servicio de agua potable se abastece actualmente de fuentes subterráneas ubicadas en la cuenca del río Copiapó, que permiten alimentar a las ciudades de Copiapó y Tierra Amarilla y a los puertos de Caldera y Chañaral, que suman una demanda de 855 l/seg.

Esta cuenca, cuya recarga está principalmente en la cordillera de los Andes, ha sido muy afectada, por una parte, por la prolongada sequía en la zona, que ya se extiende por más de 10 años. Por otra parte se afecta por la sobreexplotación del acuífero, para uso agrícola principalmente y en parte para la minería. De hecho, las extracciones superan la recarga del acuífero en condiciones normales y los derechos de extracciones otorgados por la autoridad han superado largamente estos niveles.

Esta situación tuvo como consecuencia que las fuentes disponibles para el abastecimiento de la ciudad de Copiapó se agotaran en forma drástica, lo que ocasionó una importante crisis para la empresa sanitaria responsable, que tuvo que cambiar la totalidad de sus sondajes, ubicándolos en sectores con aguas de peor calidad, lo que la obligó a construir plantas de osmosis inversa para abatir principalmente sulfatos, cloruros, nitratos y dureza.

No obstante, dicha solución ha sido transitoria, ya que el acuífero que se está explotando para el abastecimiento de agua, es de la misma cuenca del río Copiapó, por lo que también se está deprimiendo rápidamente.

La solución encontrada para este problema fue la construcción de una planta desalinizadora ubicada en el puerto de Caldera, la que se encuentra actualmente en ejecución, con recursos aportados por el Estado, con una capacidad de producción de 450 l/seg. Este caudal reemplazará una porción significativa del agua actualmente extraída en la cuenca del río Copiapó, y será bombeado hacia la ciudad capital, utilizando en sentido contrario la aducción que lleva actualmente el agua al puerto. Cabe hacer notar que el agua deberá ser impulsada, desde el nivel del mar hasta la ciudad de Copiapó, ubicada a unos 400 m.s.n.m, lo que encarecerá aún más los costos de operación, cifras que finalmente impactarán en las tarifas a los usuarios.

Las compañías mineras de ésta y de algunas otras regiones, por su parte, están empezando a construir plantas desalinizadoras para abastecer sus procesos, algunos de los cuales incluso pueden ser realizados utilizando directamente el agua del mar.

9.4.2. Caso de la ciudad de Santiago

Un segundo caso de escasez hídrica es el de la propia ciudad de Santiago. Por efecto del cambio climático, los volúmenes de deshielos anuales de la cuenca del

río Maipo, que es la principal fuente de abastecimiento de la ciudad, han disminuido a casi la mitad en solo los últimos 10 años: de 2.520 hm³ a 1.200 hm³. Las medidas que la empresa Aguas Andinas S.A., operadora del servicio de agua potable, está adoptando frente a esta situación, las ha clasificado en soluciones de corto, mediano y largo plazo.

Las medidas de corto plazo consisten en: i) aumento de los pozos para la extracción de aguas subterráneas; ii) interconexión entre los diversos sistemas de producción y transporte, para aprovechar óptimamente los excedentes estacionales u operacionales; iii) plan de eficiencia operativa, que incluye sectorización y disminución de presiones y reducción de pérdidas; y iv) campañas de educación a los usuarios para un uso racional del agua, evitando derroches.

Las medidas de mediano y largo plazo son: i) aumento de compras de derechos de uso de aguas de las fuentes actuales o de otras fuentes; ii) avanzar en conocimiento, monitoreo, modelación y evolución futura de los recursos hídricos, principalmente de glaciares y acuíferos; iii) implementación de proyectos de recarga de acuíferos; y iv) realización de estudios de reutilización de aguas servidas tratadas. No obstante estas medidas, la sequía ha sido extrema en lo que va del año 2019, por lo que urgentemente deberán abordarse los estudios para ver la forma en que podría asegurarse el abastecimiento de una ciudad de más de 6 millones de habitantes.

9.4.3. Caso de la Región de Valparaíso

El río Aconcagua, que es la principal fuente de abastecimiento de su ciudad capital, el puerto de Valparaíso ha disminuido su caudal en la presente década, comparada con la inmediatamente anterior, en un 40%.

Los crecientes requerimientos de los distintos usuarios del recurso hídrico (agua potable, agricultura, industria y minería), aumentaron también la extracción de aguas subterráneas, con la consecuente disminución de las napas freáticas.

Las disputas por el elemento escaso en la región llegaron hasta los tribunales de justicia, lo que llevó a que, finalmente, el Ministerio de Obras Públicas, los regantes del río Aconcagua y la Empresa de Servicios Sanitarios de Valparaíso, ESVAL S.A., convinieran en firmar, en el mes de octubre del 2018, un histórico acuerdo para optimizar el uso del recurso hídrico que permitiese asegurar el agua para el consumo humano y, a la vez, apoyar el riego para la temporada⁹.

Los objetivos del acuerdo fueron aumentar la seguridad hídrica para todos los usuarios de la cuenca del río Aconcagua, crear un plan de contingencia para el corto plazo (temporada 2018-2019) y fundamentar una solución estructural y de fondo para el largo plazo.

En todo caso, ESVAL considera que el acuerdo no es sostenible en el tiempo si no se realizan avances concretos en soluciones estructurales de largo plazo, lo que

⁹ Un proyecto de ley en actual tramitación en el Congreso Nacional, entre otras disposiciones, le otorga preferencia al uso del agua para el consumo humano, pero no cuenta hasta el momento con un consenso político, de modo que es difícil que pueda ser aprobado en el corto plazo.

finalmente podría concluir en la necesidad de construir una planta desalinizadora para las ciudades costeras de la región (Valparaíso - Viña del Mar - Concón).

9.5 IMPACTOS DE ORIGEN ANTRÓPICO EN LA SEGURIDAD HÍDRICA

9.5.1. Derrame de kerosene en el centro de esquí La Parva

En la mañana del 23 de mayo de 2017, la empresa Aguas Cordillera S.A., que opera el servicio de agua potable de la zona nororiente de Santiago (comunas de Lo Barnechea, Las Condes y Vitacura), comenzó a recibir reclamos de los clientes por olor y sabor a combustible en el agua potable.

La empresa detuvo inmediatamente la operación de las plantas que se alimentan del río Mapocho y avisó a las autoridades. La paralización de esta fuente de producción hizo necesario conectar toda el área al sistema de distribución de agua potable del resto de las zonas de Santiago, que son abastecidas desde el río Maipo, y que es operado por su casa matriz Aguas Andinas S.A., además de poner en operación todas las captaciones de aguas subterráneas disponibles en Aguas Cordillera.

Se determinó que la contaminación tuvo su origen en el derrame de 14.500 litros de kerosene en el estero Manzanito, afluente del río Mapocho. El derrame provino del sistema de calefacción del centro de esquí La Parva, ubicado 37 kilómetros aguas arriba de la primera planta de tratamiento de agua potable de Aguas Cordillera, lo que obligó a paralizar este sistema de producción durante 4 meses, de modo que a no ser por la alternativa de conexión al sistema de distribución de agua potable del resto de Santiago, la crisis habría sido desastrosa.

Luego del incidente y como consecuencia del mismo, la empresa estableció un plan permanente de monitoreo en seis puntos de las aguas del río Mapocho y de sus afluentes. Monitoreó, entre otros, los parámetros: olor, en frío y caliente; hidrocarburos del diésel (presentes en el kerosene); e hidrocarburos totales.

Aguas Cordillera ha planteado como un desafío para la coordinación entre los diferentes usuarios de la cuenca alta del río Mapocho, constituidos por la minera Los Bronces, la Junta de Vigilancia del río y 4 centros de esquí, la definición de un sistema de alerta temprana para episodios de contaminación que permita, al menos, evitar el ingreso de contaminantes a las plantas de tratamiento y reducir el tiempo de puesta en operación de los sistemas alternativos de abastecimiento.

9.5.2. Contaminación de la planta de tratamiento de agua potable de Osorno

En la noche del miércoles 10 de julio de 2019, un operador de la principal fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Osorno, de la X Región, no cerró la válvula de alimentación de petróleo diésel del grupo generador ubicado aguas arriba de la bocatoma de la planta de tratamiento Caipulli, que capta las aguas del río Rahue, provocando un derrame que contaminó el agua cruda que ingresa a la planta.

Este vertimiento, de unos 1.100 litros de combustible, fue detectado solo en la mañana del día siguiente, por otro operador, resultando contaminadas todas las unidades de la planta de tratamiento (desarenadores, floculadores, decantadores, filtros y estanques de acumulación), llegando incluso a los tanques de regulación de la distribución. Afortunadamente la contaminación no alcanzó a llegar a los hogares, ya que no se recibieron reclamos de los usuarios antes que el servicio fuera suspendido totalmente por la concesionaria.

El servicio de agua potable de Osorno es prestado por la empresa de servicios sanitarios de Los Lagos S.A. (ESSAL) cuyos propietarios son las empresas Aguas Barcelona (AGBAR) y el grupo Suez. Osorno tiene una población estimada de 150 mil habitantes, que son abastecidos con tres sistemas de producción. Solo un pequeño sector de esta ciudad no resultó afectado, por corresponder a un servicio independiente ubicado en la salida norte de la ciudad y que atiende a una población de 3 mil habitantes, de modo que un 98% de la ciudad resultó afectada por la emergencia.

La crisis no fue adecuadamente manejada por la empresa, ya que en un comienzo no informó correctamente ni las causas de la interrupción ni los plazos de reparación. La errónea estimación de los tiempos para la reposición del servicio se debió a malos diagnósticos del personal responsable, lo que ocasionó un gran malestar tanto en los usuarios como en las autoridades políticas y administrativas. Durante el corte del servicio, el abastecimiento a la población fue proporcionado por tanques portátiles ubicados en sitios estratégicos de la ciudad donde los vecinos podían ir a recoger el agua en bidones para atender sus necesidades básicas. Los tanques eran abastecidos por camiones aljibe que traían el agua potable de localidades vecinas.

La producción de agua solo pudo ser restablecida completamente, el domingo 21 de julio de 2019, once días después de haberse producido el siniestro.

El órgano estatal que fiscaliza las empresas sanitarias, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), realizó una investigación especial del evento y decidió abrir un expediente de caducidad de la concesión a ESSAL S.A., del servicio de agua potable de la ciudad de Osorno¹⁰; proceso que se encuentra en desarrollo al momento de elaborar este informe y que puede tomar mucho tiempo para su resolución, ya que la empresa puede incluso recurrir a la justicia ordinaria, si es que discrepa de la decisión de la SISS.

9.6. LECCIONES APRENDIDAS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las situaciones de emergencia que afectan a la infraestructura sanitaria implican el despliegue de importantes esfuerzos, no sólo de las empresas sanitarias responsables, sino también de las autoridades de gobierno y de otras instituciones tanto privadas como públicas, para garantizar un nivel mínimo de servicio a la población, cumpliendo con la normativa vigente.

¹⁰ Ver www.siss.gob.cl

Diseñar y construir sistemas resilientes de agua potable y de aguas servidas, que puedan soportar embates de la naturaleza o superar riesgos causados por el hombre, debe ser un objetivo a abordar, ponderando adecuadamente los costos en cada situación.

A continuación se exponen algunas de las lecciones aprendidas de la experiencia chilena para abordar situaciones de desastres.

- ✓ **Información oportuna y veraz.** Una de las principales lecciones aprendidas, como resultado de las emergencias reseñadas en este capítulo es, sin duda, la necesidad de contar con una oportuna y certera información a la población sobre el evento ocurrido, difundida a través de los medios de comunicación que estén disponibles. La población afectada por la falta de servicios básicos de agua potable y/o recolección de aguas servidas ha requerido, en todos los casos, de una clara información de la empresa o autoridad, sobre la evolución de los acontecimientos, y cuando ello no ha ocurrido, la ciudadanía ha manifestado con gran vehemencia su malestar, como sucedió en el caso de Osorno.

Una buena información le da credibilidad al órgano oficial y privado y es indispensable para contrarrestar las noticias falsas que habitualmente se difunden en las redes sociales en este tipo de situaciones. Una información engañosa o incompleta, solo contribuye a crear incredulidad y confusión en la ciudadanía, alentando el surgimiento de rumores alarmantes.

- ✓ **Planes de abastecimiento alternativo de agua potable.** Una segunda lección que se ha aprendido como resultado de la atención de las múltiples emergencias que ha debido abordar el país, es la importancia de disponer de planes de abastecimiento alternativo de agua potable por ciudad. Estos planes deben ser conocidos previamente por todos los actores. El plan debe incluir: ubicación y características de los puntos de distribución de agua potable, información de los clientes sensibles que hay que atender (hospitales, centros de salud, de diálisis, centros de hospedaje y similares), catastros de camiones aljibe, puntos de abastecimiento de los camiones, y otros aspectos que deben estar definidos en forma previa a una emergencia.
- ✓ **Obras de seguridad.** En Chile se ha avanzado en la construcción de obras de seguridad para mantener la continuidad de los servicios de agua potable cuando se vean afectadas las fuentes de abastecimiento por cualquier tipo de causas. Con estas obras, por ejemplo en el Gran Santiago, desde el año 2020 disponer de una seguridad de almacenamiento de agua para mantener el suministro durante 36 horas.

Por otra parte, en el caso de la contaminación en Osorno, el error técnico de tener instalado un tanque de combustible aguas arriba de la bocatoma de una planta de tratamiento de agua potable, sin ningún tipo de protección, llevó a la Superintendencia de Servicios Sanitarios a fiscalizar, de manera inmediata, a

los otros sistemas productivos de agua potable, llegando a detectar deficiencias similares en algunos de ellos, procediendo a fijarles plazos perentorios para subsanar los defectos identificados.

- ✓ **Fuentes alternativas de agua potable.** Frente a la grave sequía que afecta al país, y que puede transformarse en una situación permanente producto del cambio climático, se ha comenzado a visualizar que las plantas desalinizadoras de agua de mar pueden ser una solución adecuada, especialmente para ciudades que se ubican en la costa del país. De hecho, la ciudad de Antofagasta, capital de la II Región, de aproximadamente 400.000 habitantes, se abastece principalmente de agua desalinizada.
- ✓ **Cooperación inter-empresas sanitarias.** En eventos de gran magnitud, como fue el caso de los daños que sufrió la infraestructura de agua potable y alcantarillado en Copiapó, resulta fundamental la colaboración de profesionales, técnicos y operarios, y el aporte de maquinarias, de otras empresas que ya tienen el conocimiento y la experiencia y también los recursos disponibles para abordar la solución de los problemas. Sin dicho aporte la rehabilitación y reconstrucción de la infraestructura se hace muy difícil.
- ✓ **Sistemas de comunicaciones.** También se ha comprobado que sistemas de comunicación deficientes, en casos de desastres pueden originar serios problemas. Estas deficiencias se han ido mejorando en la actualidad, con la dotación de teléfonos satelitales a determinadas instituciones, con la implementación de mensajes de texto (que no saturan las líneas telefónicas) para informar masivamente al público, y con la existencia de radios en señal VHF, que permiten la comunicación interna de las empresas, práctica que había sido abandonada con la aparición de la telefonía celular, pero que ha demostrado no ser efectiva en casos de desastres.
- ✓ **En el aspecto de desplazamiento y transporte,** empresas y clubes aéreos, pueden ser la solución para llegar a determinados lugares claves, en caso de que los caminos hayan resultado cortados como resultado del siniestro. La solución de la emergencia deja en segundo lugar la evaluación del costo del servicio de transporte.
- ✓ **Organización para atender las emergencias.** En resumen, en Chile se ha trabajado bastante, bajo la coordinación de la ONEMI, en avanzar en la organización para prepararse preventivamente frente a las situaciones de catástrofe, según qué tipo de emergencia se trate. Así, se ha avanzado en la organización de simulacros de evacuación de la población en caso de sismos y maremotos y también en la preparación de acciones para el suministro alternativo de agua potable, habiéndose ya definido planes específicos para varias ciudades del país.

9.7. REFERENCIAS

- www.onemi.cl
- Decreto N°156, del año 2002, del Ministerio del Interior.
- Decreto N°1.434, del año 2017, del Ministerio del Interior.
- Ley N° 20.998, de 2017, que regula los servicios sanitarios rurales
- www.doh.cl.
- www.siss.gob.cl

CAPITULO 10: SEGURIDAD HÍDRICA Y GESTIÓN DE RIESGOS EN MÉXICO

**Dra. Blanca Jiménez-Cisneros
Ing. Víctor Hugo Alcocer-Yamanaka
Ing. Javier Aparicio**

Comisión Nacional del Agua, México

10.1. INTRODUCCIÓN

México recibe anualmente huracanes tanto por el océano Atlántico como por el Pacífico. En estos últimos 5 años, México se ha enfrentado cada año a fenómenos naturales más intensos. Se estima que a nivel nacional se tiene una superficie de 162,000 km² de zonas propensas a inundarse, lo que representa cerca del 11% del territorio nacional¹¹.

Por otro lado, las sequías ocurridas entre 2000 y 2002 y entre 2011 y 2012 se convirtieron en grandes desastres económicos y ambientales. La primera provocó dificultades para que México cumpliera con los términos del Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América de 1944. Durante la segunda, el 86% del territorio nacional tuvo una crisis hídrica (Neri y Magaña, 2016), pues la sequía impactó a 1,213 municipios de 19 entidades federativas (Conagua, 2018).

10.1.1. Conceptos de Gestión Integrada de Avenidas

La metodología de la Gestión Integrada de Avenidas (GIA) conlleva un replanteamiento básico de lo que ese fenómeno significa para la sociedad: la “necesidad de controlar” deja ahora paso a la “necesidad de gestionar”, abandonando con ello la anterior actitud meramente reactiva en favor de una respuesta más activa (OMM, 2006; OMM, 2009), que debe alentar la participación de usuarios, los encargados de la planeación y las instancias normativas en todos los niveles. La manera reactiva tradicional de enfrentar los desastres por inundaciones consiste simplemente en llevar abastecimiento de alimentos, medicamentos, ropa, etc. a la zona en cuestión y en tratar en lo posible de evacuar a la población afectada. Esta forma de proceder ha hecho claro que, independientemente de los recursos disponibles, la provisión de protección completa es simplemente imposible (Marc, 2012). La respuesta reactiva es sólo uno de los componentes del ciclo de vida de la gestión de riesgos, aplicable tanto a inundaciones como a sequías. Después está el periodo de recuperación, en el que se toman acciones posteriores al impacto inicial, incluyendo aquellas dirigidas al retorno a la normalidad. La tercera parte del ciclo está constituida por la

¹¹ <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/inicio>

mitigación, a través de actividades que previenen el desastre, reduciendo su probabilidad de ocurrencia y sus efectos dañinos. Finalmente, la cuarta parte del ciclo consiste en preparación y entrenamiento antes de la ocurrencia del siguiente evento. **La tendencia generalizada mundialmente es evitar que la gestión de avenidas y sequías se haga en forma desintegrada.** La gestión integrada de avenidas y de sequías entiende que el proceso de la toma de decisiones ha de ser participativo, multisectorial y transparente.

10.1.2. Elementos para un programa de Gestión Integrada de Sequías

Los elementos estratégicos para un programa de gestión integrada de sequías son, de acuerdo con el Programa de Gestión Integrada de Sequías (IDMP), los siguientes (WMO/GWP, 2011):

- Marco de política integral en los niveles nacional y regional para adoptar medidas preventivas contra las sequías
- Bases científicas y basadas en pruebas para las intervenciones propuestas
- Insumos multidisciplinarios y científicos para el desarrollo de políticas y estrategias en las que el agua, la tierra, la agricultura y los ecosistemas se abordan conjuntamente
- Marco legal e institucional que defina responsabilidades y faciliten la colaboración y la coordinación interinstitucionales
- Marco nacional y regional para el monitoreo de la sequía, alerta temprana y distribución de información
- Enfoque basado en riesgo para la gestión de la sequía
- Participación de los interesados en el desarrollo de políticas y su implementación a través de la promoción, sensibilización y educación.

10.2. SISTEMA MEXICANO DE GESTIÓN DE RIESGOS HÍDRICOS

10.2.1. CIASI

La Comisión Intersecretarial para la Atención de Sequías e Inundaciones (CIASI) fue creada para coordinar acciones entre las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal relativas al análisis de riesgos y la implementación de medidas de prevención y mitigación de fenómenos meteorológicos extraordinarios y los efectos que éstos generan, tales como sequías e inundaciones.

10.2.2. Inundaciones

Las principales acciones para la atención a inundaciones consideran los conceptos de la GIA expresados anteriormente, con las naturales adaptaciones en el ámbito mexicano y local y se pueden inscribir en dos componentes:

- Alertamiento y prevención: monitoreo permanente, programas de ordenamiento territorial, mantenimiento de bordos, presas y sus instrumentos, mapas de riesgo por inundación y diversas acciones para determinar zonas inundables.
- Mitigación: Revisión y actualización de protocolos de operación de presas.

10.2.3. Red nacional de monitoreo

En la figura 10.1 se muestra la red hidrométrica y climatológica nacional que reporta diariamente a tiempo real. Actualmente la CONAGUA cuenta con 3,815 estaciones climatológicas e hidrométricas convencionales y automáticas (569 hidrométricas convencionales, 240 hidrométricas automáticas, 2,861 climatológicas convencionales y 145 climatológicas automáticas). Además, en total hay 385 estaciones hidrometeorológicas automáticas. Sin embargo, como se observa en la figura 10.1, su distribución en el territorio nacional es desigual y aún hay porcentajes bajos de recepción de datos provenientes de algunas de esas estaciones. Adicionalmente, la cantidad de estaciones climatológicas convencionales ha disminuido significativamente, de 3,898 en 1985 a las mencionadas 2,861 actuales. Para aumentar la efectividad de los sistemas y protocolos de alerta temprana, se ha instrumentado un plan de crecimiento de la red de medición que incluye la instalación, operación y mantenimiento de 1346 estaciones hidrometeorológicas automáticas nuevas en cauces y presas, así como 517 estaciones climatológicas automáticas, además de piezómetros y estaciones automáticas de calidad del agua.

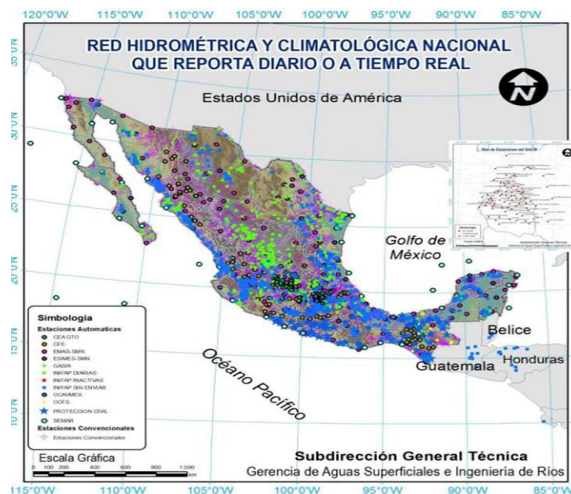


Figura 10.1. Red hidrométrica y climatológica nacional que reporta diariamente o a tiempo real.

10.2.4. Atlas Nacional de Riesgos

El Atlas Nacional de Riesgos constituye un sistema que permite la visualización dinámica de los riesgos en un tablero único. El atlas contiene un Sistema de

Información Geográfica sobre Riesgos, así como atlas estatales y municipales. En particular, incluye el Atlas Nacional de Riesgos por Inundación (ANRI), que contiene información por cuenca, por río, por presas y por ciudades. La figura 10.2 muestra el mapa de índice de peligro de inundación por municipio (Sistema Nacional de Protección Civil, 2016). Actualmente se cuenta con 144 Atlas de Riesgo por Inundación en el país, 104 de los cuales están disponibles en línea¹², que permiten determinar el territorio inundable para diferentes periodos de retorno. Se estima que más de cuatro millones de personas habitan en las zonas inundables cubiertas por dichos atlas. A partir de los Atlas de Riesgo se han desarrollado 95 programas contra contingencias hidráulicas para diversos sitios.

La determinación del territorio inundable es un aspecto de suma importancia para todas las actividades relacionadas con la reducción de riesgos por inundaciones, desde el establecimiento de programas de prevención hasta la administración de las emergencias. Actualmente se cuenta con 9,772 km de zona federal delimitada, de los cuales 8,000 km están disponibles en línea¹³. La figura 10.3 muestra las zonas federales actualmente delimitadas a nivel nacional. En el periodo 2012-2018 se delimitaron 7,249 km en 570 proyectos.

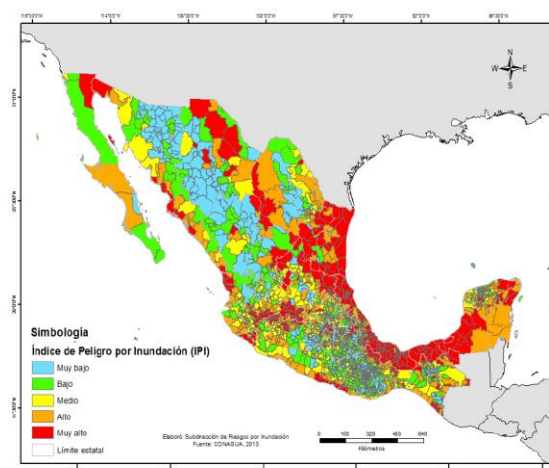


Figura 10.2. Mapa del índice de peligro por inundación.

¹² www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx

¹³ www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx



Figura 10.3. Zonas federales delimitadas a nivel nacional.

Fuente: SGT

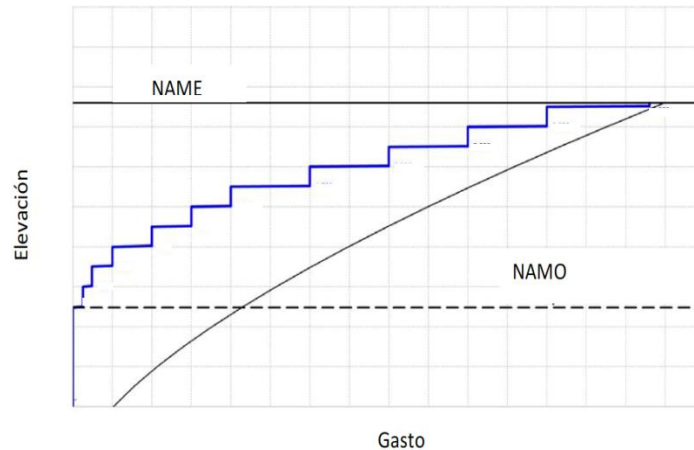
10.2.5. Políticas de operación de presas.

México cuenta con 6,040 presas, de las cuales 990 se consideran grandes presas conforme el criterio de la Comisión internacional de grandes presas (ICOLD)¹⁴: 860 con una altura de cortina mayor de 15 m y 130 con altura de cortina entre 5 y 15 m y almacenamiento superior a 3 hm³. Los objetivos principales de las políticas de operación de presas son:

- **Proteger la infraestructura y a las poblaciones asentadas aguas abajo de las presas**
- Proporcionar los elementos principales para la operación de presas con vertedor de excedencias controlado.
- Apoyar la toma de decisiones para operar estas estructuras

Para cada presa se propone una política de operación que supone la condición más desfavorable, considerando la entrada de la avenida de diseño, normalmente con un periodo de retorno de 10,000 años. Dicha avenida se transita mediante una política de apertura de compuertas tal que no se rebase el NAME. En la figura 10.4 se muestra una política típica. Hasta ahora se tienen 50 documentos de políticas de operación de presas con vertedor controlado y 146 de presas con vertedor libre.

¹⁴ https://www.icold-cigb.org/GB/dams/definition_of_a_large_dam.asp



**Figura 10.4. Política de operación típica
(Fuente: SGT)**

10.3. ESTUDIO DE CASO: HURACÁN PATRICIA

Patricia fue un huracán categoría 5 en la escala Saffir-Simpson y ocurrió en octubre de 2015. Sus vientos máximos sostenidos tuvieron una intensidad máxima de 342 km/h cerca de las 1200 UTC (Universal Time Coordinated) el 23 de octubre, cuando su centro se localizó aproximadamente a 130 millas náuticas al suroeste de Manzanillo. Esto hizo que Patricia se considere como el huracán más intenso del que se tiene registro en el Océano Pacífico Nororiental, sobrepasando al huracán Linda en 1997, además de que también es el más intenso que cualquiera de los que se tiene registro en el Atlántico, aunque los registros de los huracanes más intensos en el Pacífico Nororiental previos a 1988 son particularmente inciertos. La presión mínima central de 872 milibares representa la más baja de todos los registros para el hemisferio Oeste (Pacífico Central Norte, Pacífico Nororiental y Océano Atlántico) y el segundo más bajo en todo el mundo (detrás únicamente de la presión de 870 milibares del Tifón Tip en 1979).

La caída de la presión de forma extremadamente rápida del 22 al 23 de octubre también es muy notoria. Sobre un periodo de 24 horas, finalizando a las 01:00 h (0600 UTC) del día 23 de octubre, se estima que la presión cayó 100 milibares y el viento se incrementó de 75 a 180 nudos. La intensificación de 105 nudos en un día excedió a la intensificación de 95 nudos acontecida con el Huracán Wilma en 2005 mientras cruzaba el Mar Caribe Occidental. Patricia se debilitó sustancialmente antes de tocar tierra a lo largo de una zona escasamente poblada de la costa suroeste de México, como huracán categoría 4 en la escala Saffir-Simpson. EL huracán Patricia tuvo una intensidad estimada a la hora del impacto de 130 nudos (240 km/h) y una presión mínima central de 932 milibares.

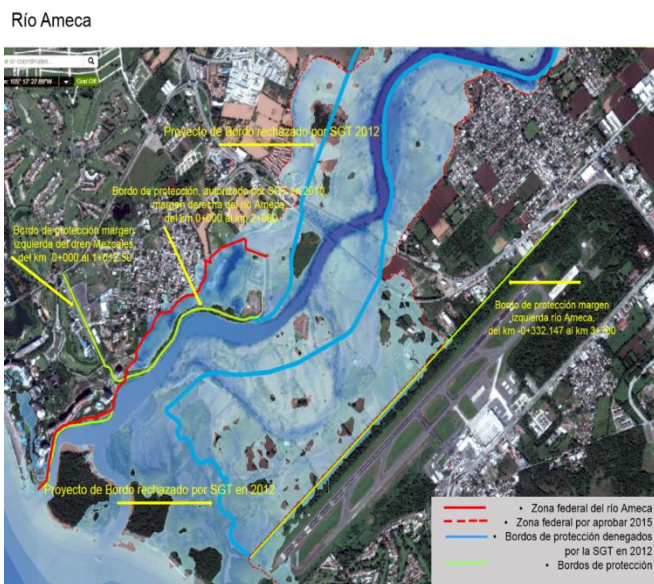


Figura 10.5. Modelación bidimensional del río Ameca ante la ocurrencia del huracán Patricia en 2015.
(Fuente: SGT)



Figura 10.6. Principales presas y polígonos de posible impacto ante la ocurrencia del huracán Patricia.
(Fuente: SGT)

Para la atención y monitoreo del huracán Patricia y sus efectos, se determinó el área inundable utilizando modelación numérica bidimensional (figura 10.5). Además, se establecieron medidas para el funcionamiento y vigilancia de la infraestructura hidráulica ubicada en la zona posiblemente afectada por el huracán (ver figura 10.6). Atención especial mereció la presa Cajón de Peña por sus dimensiones y ubicación respecto a la trayectoria del huracán.

10.4 PROGRAMA NACIONAL CONTRA LA SEQUÍA (PRONACOSE).

La definición de sequía depende del enfoque científico (meteorología, hidrología, geografía, etc.) o de la actividad que se afecta (agricultura, ganadería, industria, recreación, etc.) (García *et al.*, 2014). La Conagua (2018) define la sequía como la insuficiencia de volumen usual en las fuentes de abastecimiento debido a una menor cantidad de la lluvia para el llenado de las fuentes. Esto debe distinguirse claramente de una insuficiencia debida al manejo humano. Las características de imprevisibilidad y gradualismo de las sequías pueden producir en el largo plazo efectos aún más catastróficos que las inundaciones.

El PRONACOSE (Conagua, 2018) tiene pocos antecedentes en el mundo; se inscribe en la Política Pública Nacional para la Sequía y atiende los lineamientos del IDMP mencionados en la introducción y sus pilares fundamentales: Monitoreo

y alerta temprana (prevención), vulnerabilidad y evaluación de impactos y mitigación y preparación (WMO/GWP, 2014).

10.4.1. Monitor de sequía

En México se cuenta con el Monitor de Sequía de México (MSM)¹⁵, que forma parte del Monitor de Sequía de América del Norte, resultado de la cooperación técnica entre expertos de sequía de México, Estados Unidos y Canadá. El Centro Nacional de Datos Climáticos de los Estados Unidos (NCDC) es el encargado de coordinar las actividades entre las contrapartes de los países, que incluye un calendario de autores por país, quienes tienen la misión de reunir las evaluaciones mensuales de la sequía y generar el mapa regional de sequía de América del Norte¹⁶, ver figura 10.7.

Las acciones que existen para hacer frente a los eventos de sequía pueden ser categorizadas en dos grupos: acciones preventivas y acciones de mitigación. Las primeras permiten estimar y organizar de manera anticipada los recursos humanos, materiales y financieros que podrían ser necesarios para enfrentar el fenómeno de la sequía. Las segundas son aquellas que son ejecutadas durante la sequía para atenuar sus impactos. Ambas son acciones concebidas dentro de un proceso de planeación anticipada, a fin de que, por un lado, sean más eficientes, articuladas y conocidas por parte de los sujetos y organizaciones que las habrán de llevar a cabo, y de que, por otro lado, se reduzcan los costos que deriven de una sequía.

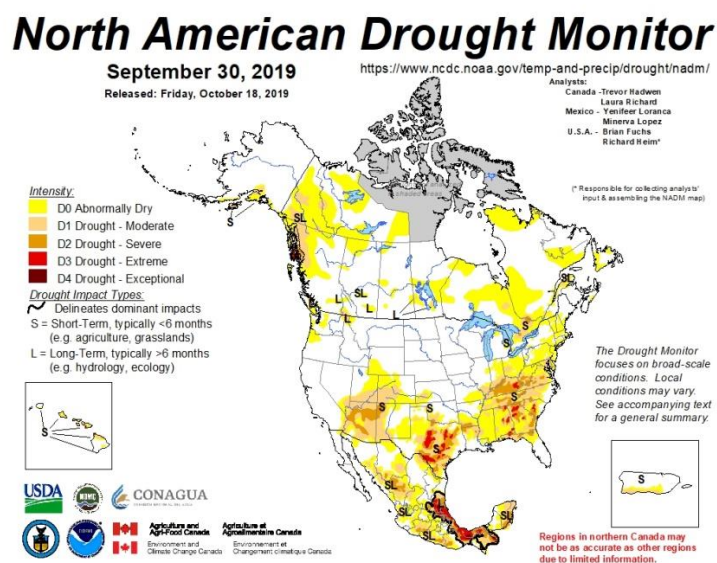


Figura 10.7. Monitor de sequía de América del Norte.

10.4.2. Programas de Medidas de Prevención y Mitigación contra la Sequía.

¹⁵ <http://smn.conagua.gob.mx/es/monitor-de-sequia-en-mexico2>

¹⁶ <https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-de-america-del-norte>

El Programa nacional contra sequía (PRONACOSE) promueve la elaboración de Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación contra la Sequía (PMPMS), con el objetivo general de minimizar impactos ambientales, económicos y sociales ante eventuales situaciones de escasez temporal de agua. Hasta el año 2013 se actuaba de manera reactiva ante el fenómeno de la sequía. Con el PRONACOSE y particularmente con los PMPMS se busca contar de antemano con planes y acciones que se aplicarían ante eventuales situaciones de escasez temporal de agua¹⁷. Con estos planes se busca:

- Garantizar la disponibilidad de agua requerida para asegurar la salud y la vida de la población: abastecimiento público, doméstico, urbano y rural.
- Evitar o minimizar los efectos negativos de la sequía sobre el ambiente, en especial sobre el régimen de caudales ecológicos.
- Minimizar los efectos negativos sobre las actividades económicas, según la priorización de usos establecidos en la legislación de aguas y en los programas hídricos.

Los PMPMS son componentes clave en la implementación del PRONACOSE, pues representan la herramienta vinculante entre usuarios y los actos de autoridad que garantiza el acceso al recurso hídrico mediante la preservación y la atención coordinada para mitigación (Conagua, 2018). En los 26 PMPMS por cada uno de los Consejos de Cuenca y 22 ciudades, gran parte de las medidas, alrededor del 44%, se encuentran dirigidas hacia el sector urbano, mientras que para el sector energético se considera poco más del 1%. En la Figura 10.8 se incluyen los actores que participan en la política pública en materia de sequías.



¹⁷ <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-contra-la-sequia-pronacose-programas-de-medidas-preventivas-y-de-mitigacion-a-la-sequia-pmpms-para-ciudades>

Figura 10.8. Actores que participan durante la implementación de la política pública en materia de sequías.
(Adaptado de Conagua, 2018)

10.4.3 Estudio de caso: Sequía en Oaxaca, 2017

El 28 de febrero de 2017, La Presa “Presidente Benito Juárez”, que suministra agua al Distrito de Riego 019 Tehuantepec, Oaxaca, registraba apenas 105.874 hm³, es decir, 14.7% de llenado. Para esa fecha el 29% del territorio oaxaqueño presentaba sequía moderada, 9.8% sequía severa y 8.2% sequía extrema¹⁸.

No obstante, en la primera quincena de junio ocurrieron lluvias por arriba de lo normal en el sur del país. Las tormentas tropicales Beatriz y Calvin dejaron importantes precipitaciones y humedad en la costa de Oaxaca, permitiendo que la mayor parte de la sequía del Istmo de Tehuantepec desapareciera. En el resto del país las condiciones secas predominaron. En la figura 10.9 se muestra la evolución de la presa Benito Juárez durante ese periodo y en la figura 10.10 las condiciones del monitor de sequía y de la presa Benito Juárez antes y después de las tormentas tropicales Beatriz y Calvin.

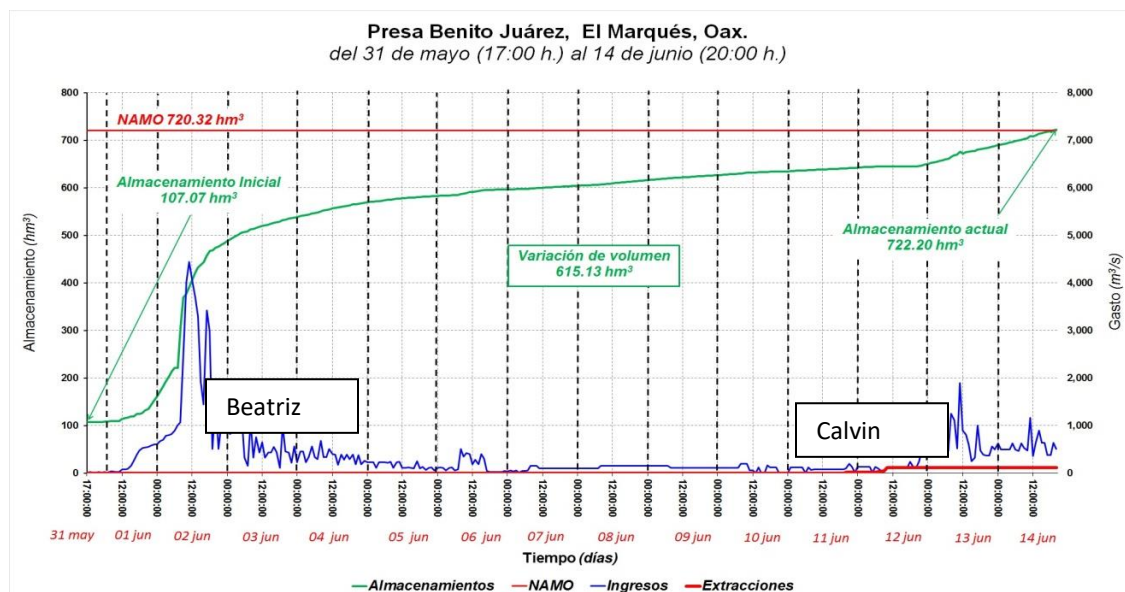


Figura 10.9. Evolución de la presa Benito Juárez, Oax. Durante la sequía de 2017.

¹⁸ <http://oaxaca.me/oaxaca-registra-sequia-historica-una-tercera-parte-territorio/>



Figura 10.10. Monitor de sequía y condiciones en la presa Benito Juárez, Oax., antes y después de las tormentas Beatriz y Calvin

En el marco de la CIASI, la Conagua atendió la situación de emergencia y realizó y canalizó una serie de acciones para contrarrestarla, tales como la rehabilitación, equipamiento, reposición y electrificación de 44 pozos en el Distrito de Riego 019 Tehuantepec y de 25 pozos en unidades de riego.

10.5 PERSPECTIVAS

- ✓ Si bien el Sistema Nacional de Gestión de Riesgos Hídricos ha avanzado en forma apreciable en los últimos años, debe buscar una mayor consolidación mediante el uso efectivo de las múltiples herramientas desarrolladas.
- ✓ Un aspecto fundamental en el Sistema Nacional de Gestión de Riesgos Hídricos es la medición. Por ello, es de gran importancia mantener e instrumentar los planes de expansión y control de calidad de la red de estaciones climatológicas e hidrométricas.
- ✓ En cuanto a la delimitación de zonas federales, se ha programado realizar 700 proyectos en corrientes y 37 en cuerpos de agua, para un total de 7,000 km y 400,000 ha respectivamente durante los próximos seis años. Por lo que se refiere a la demarcación de zonas federales, se espera realizar 130 proyectos con un total de 1,500 km. Por otra parte, se estima incrementar significativamente los diversos atlas de inundación, con lo que se protegerá a alrededor de 10 millones de personas adicionales.

- ✓ Se mantendrá el esfuerzo de elaborar y actualizar las políticas de operación de presas. En particular, es conveniente incluir en dichas políticas la evaluación cuantitativa de los riesgos aguas abajo de las presas.

10.6 CONCLUSIONES

Los cambios en las políticas públicas dirigidas a prevenir los riesgos ante eventos hidrometeorológicos extremos son evidentes. Hoy, México es un país más resiliente. La mejora de la gestión de riesgos para los extremos de escasez y exceso del agua está regida por elementos similares, desde el monitoreo y alertamiento hasta la evaluación del riesgo. El proceso de gestión integral de los eventos de sequía e inundación se vincula con el Sistema Nacional de Protección Civil para garantizar su correcta articulación con un Protocolo de Alerta Temprana y de Acciones para Sequías e Inundaciones.

La determinación del territorio inundable se realiza a través de tres componentes: el Atlas Nacional de Riesgos por Inundaciones, el Programa de Delimitación de Zonas Federales y la determinación de las políticas de operación de las presas. Actualmente habitan en las zonas delimitadas por los Atlas de Riesgo por Inundación alrededor de cuatro millones de personas y se estima que con los que se realizarán en los próximos seis años se protegerá a unos 10 millones de personas adicionales.

El PRONACOSE promueve la elaboración de PMPMS, con el objetivo general de minimizar impactos ante eventuales situaciones de escasez temporal de agua, con un enfoque preventivo y atiende los lineamientos del IDMP y sus pilares fundamentales. Los PMPMS son componentes clave en la implementación del PRONACOSE. Estos programas están en constante escrutinio y mejora. Entre las mejoras deseables, es importante incrementar el periodo de pronóstico y reducir la incertidumbre.

10.7 REFERENCIAS

- Conagua, 2018. Política Pública Nacional para la Sequía. Proyecto. PRONACOSE.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/391100/Pol_tica_P_blica_Nacional_para_la_Sequ_a_2018.pdf
- García, J. F., Fuentes, M. O., Matías, R. L. G., 2014. Sequías. Centro Nacional de Prevención de Desastres, SEGOB, serie Fascículos
- Marc, J., 2012. U.S. Army Corps of Engineers: Building Strong®, Serving the Nation and the Armed Forces, 2011-2012 edition
- Neri, C., Magaña, V., 2016. Estimation of Vulnerability and Risk to Meteorological Drought in Mexico, Weather, Climate and Society, V. 8. No. 2, pp. 95-110
- Organización Meteorológica Mundial, 2006. Aspectos sociales y participación de los interesados en la gestión integrada de crecidas. Programa asociado de gestión de crecientes, Publ. No. 1008, Ginebra
- Organización Meteorológica Mundial, 2009. Gestión Integrada de crecidas: documento conceptual. Programa asociado de gestión de crecientes, Publ. No. 1047, Ginebra

- Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED, 2016. Índice de Peligro por Inundación, México
- WMO/GWP, 2011. World Meteorological Organization and Global Water Partnership. Integrated Drought Management Programme, a Joint WMO-GWP Programme. Concept Note
- WMO/GWP, 2014. World Meteorological Organization and Global Water Partnership. National Drought Management Policy Guidelines: A Template for Action (D.A. Wilhite). Integrated Drought Management Programme (IDMP) Tools and Guidelines Series 1. WMO, Geneva, Switzerland and GWP, Stockholm, Sweden.
- www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/inicio
- www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx
- www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx
- www.icold-cigb.org/GB/dams/definition_of_a_large_dam.asp
- smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Ciclones/2015-Patricia%20.pdf
- smn.conagua.gob.mx/es/monitor-de-sequia-en-mexico2
- smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-de-america-del-norte
- www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-contra-la-sequia-pronacose-programas-de-medidas-preventivas-y-de-mitigacion-a-la-sequia-pmpms-para-ciudades
- oaxaca.me/oaxaca-registra-sequia-historica-una-tercera-parte-territorio/

ABREVIATURAS

ACLAMA Asociación para la Conservación del Lago de Maracaibo
AGBAR empresas Aguas Barcelona
ALC América Latina y el Caribe
ANDESS Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios
ANRI Atlas Nacional de Riesgos por Inundación
AVISA Asociación Venezolana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
AWWA American Water Works Association
BMP Best Managment Practice
CEMIRQ Centro de Manejo Integral de Residuos Sólidos de Querétaro
CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CIASI Comisión Intersecretarial para la Atención de Sequías e Inundaciones
CONAGUA Comisión Nacional del Agua
DBO Demanda Bioquímica de Oxígeno
DOH Dirección de Obras Hidráulicas
DQO Demanda Química De Oxígeno
ECONSSA Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios
ESVAL Empresa de Servicios Sanitarios de Valparaíso
EPA Environmental Protection Agency
FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FEMA Federal Emergency Management Agency
GIA Gestión Integrada de Avenidas
GWP Global Water Partnership
IDMP Programa de Gestión Integrada de Sequías
INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática
IPCC Panel Intergubernamental de Cambio Climático
MOP Ministerio de Obras Públicas

MSM Monitor de Sequía de México
NCDC Centro Nacional de Datos Climáticos de los Estados Unidos
ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMM Organización Meteorológica Mundial
ONEMI Oficina Nacional de Emergencia
ONG Organización No Gubernamental
ONU Organización de las Naciones Unidas
OPS Organización Panamericana de la Salud
PMPMS Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación contra la Sequía
PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PRONACOSE Programa Nacional Contra la Sequía
PTAR Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RAS Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico
RSU Residuos Sólidos Urbanos
SCIAN Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte
SEMARNAT Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SISS Superintendencia de Servicios Sanitarios
SUDS Sistema Urbanos de Drenaje Sostenible
UNESCO United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UTC Universal Time Coordinated
WEF World Economic Forum
WHO World Health Organization
WMO World Meteorological Organization
WSUD Water Sensitive Urban Design
WWAP World Water Assessment Programme