



**Organización Panamericana de la Salud**  
Oficina Regional de la  
Organización Mundial de la Salud

# Mitigación de desastres en sistemas de agua potable y saneamiento

Elaborado a partir del trabajo preparado por:  
**Ing. Patricia Gomez M.**  
**Arq. Laura Acquaviva**

**Revisado por:**  
**Ing. Claudio Osorio**  
Lima, Perú 2002

**Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)**  
**Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y**  
**Socorro en Casos de Desastres (PED)**  
**OPS/OMS**



## © Organización Panamericana de la Salud, 2002

Una publicación del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y del Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Socorro en Casos de Desastre, OPS/OMS.

Las opiniones expresadas, recomendaciones formuladas y denominaciones empleadas en esta publicación no reflejan necesariamente los criterios ni la política de la OPS/OMS ni de sus estados miembros.

La Organización Panamericana de la Salud dará consideración favorable a las solicitudes de autorización para reproducir o traducir, total o parcialmente, esta publicación. Las solicitudes deberán dirigirse a:

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Organización Panamericana de la Salud, Apartado postal 4337- Lima 100, PERU; fax (51-1) 437-8289; correo electrónico: [desastre@cepis.ops-oms.org](mailto:desastre@cepis.ops-oms.org)

O bien al Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Socorro en Casos de Desastre, Organización Panamericana de la Salud, 525 Twenty-third Street, N.W., Washington, D.C. 20037, EUA; Fax (202) 775-4578; Correo electrónico: [disaster-publications@paho.org](mailto:disaster-publications@paho.org).

La realización de esta publicación ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (ASDI); Departamento para el Desarrollo Internacional del Reino Unido (DFID); División de Ayuda Humanitaria Internacional de la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (IHA/CIDA), la Oficina de Asistencia al Exterior en Casos de Desastre de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (AID/OFDA).



## **PREFACIO**

El presente juego de diapositivas está dirigido a los países de Latinoamérica y el Caribe que se encuentran expuestos a diferentes amenazas naturales, y pretende ser un instrumento para la difusión y capacitación sobre los aspectos básicos de la mitigación de desastres en los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario.

Se tratan en particular los aspectos relacionados al impacto y las medidas de mitigación de desastres en este tipo de sistemas. Es una serie que se complementa con la publicada anteriormente por la OPS/OMS titulada "Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario – Guías para el análisis de vulnerabilidad".

Esta dirigido a los profesionales y técnicos involucrados en el diseño, construcción, mantenimiento y administración de sistemas de agua y saneamiento. Su objetivo es promover y facilitar la incorporación en esta infraestructura de medidas de mitigación frente a desastres naturales, para reducir los daños y asegurar el mantenimiento de los servicios con posterioridad a un posible desastre.



## INTRODUCCIÓN

El presente material de capacitación sin llegar a tratar de manera exhaustiva las diferentes variables que influyen en la reducción de la vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario frente a amenazas naturales, busca abordar el contenido que se presenta en la **diapositiva 1**.

## GENERALIDADES SOBRE LOS DESASTRES Y SU IMPACTO EN LOS SISTEMAS DE AGUA Y SANEAMIENTO (diapositiva 2)

América Latina y el Caribe es una región expuesta a todo tipo de amenazas naturales: sismos, huracanes, erupciones volcánicas, inundaciones deslizamientos y sequías, entre otros, como se muestra en la **diapositiva 3**, las cuales se presentan con cierta frecuencia en nuestros territorios y dejan a su paso pobreza y destrucción.

Los resultados de los últimos desastres han demostrado el incremento de la vulnerabilidad provocada por la acción del hombre, ha aumentado la frecuencia y el impacto de los desastres. Entre otras consecuencias, los servicios de agua y saneamiento se ven seriamente afectados, lo que influye de manera negativa sobre la salud y el bienestar de la población.

Las razones para proteger los sistemas de agua y saneamiento frente a desastres naturales, van desde la protección de la salud hasta asegurar la inversión de las instituciones del sector de agua y saneamiento (**diapositiva 4**).

La interacción entre las amenazas naturales y los sistemas de agua y saneamiento ha dejado en evidencia cuán expuestos se encuentran éstos a ser dañados. Además, generalmente en los procesos de desarrollo no se ha considerado el efecto de los desastres sobre estos sistemas, lo que se ha traducido en:

- Pérdidas económicas para las empresas de agua (**diapositivas 5 y 6**) por los cuantiosos daños directos e indirectos que generan los desastres en los sistemas. Los daños directos están asociados a los daños físicos en la infraestructura. En cambio, los daños indirectos están asociados al costo adicional que incurre la empresa para atender la emergencia y a la falta de recaudación debido a la interrupción de sus servicios, entre otros.

Estudios posteriores al sismo de Limón, Costa Rica, ocurrido en abril de 1991, comprobaron que si se hubieran desarrollado las medidas de mitigación y prevención, se habría invertido cinco millones de dólares y no se hubieran gastado los nueve millones que costaron las tareas de emergencia y rehabilitación, lo que hubiera significado un ahorro de 4 millones (**diapositiva 7**).

- Alteraciones en la calidad de los servicios y exposición a riesgos para la salud debido al deterioro de la calidad de los mismos. (**diapositiva 8**).

Cuando un desastre daña seriamente los sistemas de abastecimiento de agua se ve claramente cómo se deteriora la salud de la población, como por ejemplo a través del drástico incremento de enfermedades diarreicas agudas (EDA) y de otras enfermedades de origen hídrico (**diapositiva 9**).

En la **diapositiva 10** se enumeran algunas de las razones por las cuales los sistemas de agua potable y saneamiento son especialmente vulnerables a amenazas naturales. Estas van desde la extensión y características físicas de los sistemas, hasta la importancia del agua durante la atención de la emergencia.



La única manera que esta infraestructura se encuentre preparada para situaciones de desastres es mediante la aplicación de medidas de prevención y mitigación, las que permiten reducir la vulnerabilidad de los sistemas. Muchas veces, la vulnerabilidad comienza con la inadecuada ubicación de los componentes (**diapositiva 11**).

Cuando un determinado componente no puede ser ubicado en zonas seguras, su diseño y construcción debe exigir la implementación de obras de prevención a fin de asegurar su funcionamiento en condiciones extremas. En la **diapositiva 12** se detalla la construcción de un muro de contención para la protección de una estación de bombeo contra deslizamientos que estaban afectando a la misma.

Si por alguna razón no se pudieran implementar medidas de mitigación, es necesario conocer la vulnerabilidad de los sistemas y sus componentes frente a las distintas amenazas a fin de realizar los preparativos para responder en situaciones de emergencia. La disponibilidad de compuestos químicos (**diapositiva 13**) y un almacén mínimo de repuestos clave previamente identificados, serán de gran utilidad para responder de manera efectiva y eficaz ante la emergencia.

A fin de no repetir los mismos niveles de vulnerabilidad que quedan en evidencia luego de un desastre, es importante establecer las medidas de prevención en las diferentes etapas de rehabilitación y reconstrucción.

En las tareas de rehabilitación y reconstrucción se deben incorporar medidas de prevención vitales, como cambios de material, de ubicación o de trazado, a fin de reducir la vulnerabilidad del componente (**diapositiva 14**) y de no repetir o incrementar las vulnerabilidades que dejó en evidencia el desastre.

Una de las peculiaridades de estos sistemas es que cada componente podría estar expuesto a diferentes amenazas. Por esa razón, se deben realizar acciones para atender cada una de las vulnerabilidades identificadas (**diapositiva 15**<sup>1</sup>).

## **GESTIÓN DEL RIESGO (diapositiva 16)**

La vulnerabilidad está asociada a la peligrosidad e intensidad de los eventos y a las características de un determinado componente. Si bien no se puede modificar la amenaza, se puede reducir la vulnerabilidad para minimizar los daños y mejorar la respuesta durante la emergencia. Para reducir los daños es necesaria la gestión del riesgo; se considera que el riesgo mantiene una relación directamente proporcional con la amenaza y la vulnerabilidad del componente analizado (**diapositiva 17**). Por ende, para reducir el riesgo necesariamente hay disminuir la amenaza o la vulnerabilidad.

Cuando las amenazas naturales afectan los sistemas de agua y saneamiento, sean existentes o por construir, se busca reducir los efectos mediante la ejecución de medidas de prevención o mitigación. Dichas medidas se determinan a partir de un análisis de vulnerabilidad de los distintos componentes frente a las amenazas a las cuales se encuentran expuestos.

En la **diapositiva 18** se detalla la medida de mitigación implementada en una línea de conducción. Luego de realizar el estudio de vulnerabilidad frente a sismos, se determinó la necesidad de ampliar su base de apoyo a fin de aumentar su seguridad y, consecuentemente, reducir el riesgo a verse afectada frente a este tipo de fenómenos.

---

<sup>1</sup> Esta diapositiva tiene animación automática y tarda 1 minuto en ser presentada, en la misma se presentan los efectos de distintas amenazas sobre diferentes componentes típicos de un sistema de agua, con lo cual se quiere graficar que no todos los componentes de estos sistemas serán afectados por una misma amenaza natural.



La implementación de medidas de mitigación presupone una inversión y su costo debe ser estimado. Las empresas deben tener en cuenta que reducir la vulnerabilidad minimiza las pérdidas y evita inversiones luego del desastre. Generalmente, el impacto de los desastres representa un retraso de varios años para el desarrollo de las empresas, ya que los presupuestos de operación y expansión de los servicios se deben reorientar hacia la reconstrucción.

Lo anterior no significa que siempre se requieren elevadas inversiones en relación con los costos que demandan los trabajos de rehabilitación y reconstrucción. **(diapositiva 19)**.

Tanto los costos asociados a la reducción de la vulnerabilidad, como la estrategia de gestión del riesgo variarán en gran medida si se trata de sistemas existentes o por construir **(diapositiva 20)**. En sistemas existentes la dificultad de acceder o modificar la ubicación o trazado de algunos de sus componentes (por ejemplo, tuberías subterráneas) dificultará su intervención y encarecerá las obras. En cambio, los sistemas por construir ofrecen la oportunidad única de tomar las medidas de prevención como parte del diseño original, lo cual reduce los costos y no interfiere con el funcionamiento del sistema.

Todo este proceso se enriquece cuando es producto del trabajo multidisciplinario e interinstitucional, en el que tanto los profesionales como los técnicos aportan sus conocimientos y experiencias, lo que genera motivación y compromiso en todo el grupo **(diapositiva 21)**.

## **ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD (diapositiva 22)**

### **MAPAS DE RIESGOS**

El impacto de las amenazas naturales sobre los sistemas depende del grado de exposición a la amenaza, de las características técnicas del componente y de la estructura del sistema. Por lo anterior, es primordial primero que nada identificar a que amenazas están expuestos los sistemas sanitarios, los cuales debido a su extensión pueden tener componentes ubicados en áreas expuestas a distintos tipos de amenazas **(diapositivas 23 y 24)**.

La superposición del mapa de amenazas con el del sistema permite elaborar los mapas de riesgo, en los que se distinguen los componentes expuestos a las amenazas a fin de obtener los datos necesarios para el análisis de vulnerabilidad.

Los sistemas de información geográfica constituyen un instrumento muy eficiente para la preparación de mapas de riesgo porque analizan gráficamente la información, generan mapas de zonificación del peligro e identifican los componentes más expuestos a diferentes amenazas.

### **ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD**

La vulnerabilidad es la susceptibilidad de que un elemento o conjunto de elementos sea dañado o afectado por la ocurrencia de un desastre. Cuando se tiende una tubería en un margen de un río o se aprovecha el trazado de una carretera, se expone a que el sistema se vea afectado cuando el caudal se incrementa **(diapositivas 25 y 26)** o si el puente se ve afectado. Para evitar lo anterior se debe analizar su vulnerabilidad previamente.

En relación con lo anterior, algunos profesionales recomiendan que si se usa la estructura de un puente para el tendido de una línea de conducción, este se debe hacer en el costado aguas abajo de la estructura, de manera que las vigas del puente protejan la tubería en caso de crecidas.



Una vez que se identifican las amenazas propias de la zona y sus posibles efectos, el análisis de vulnerabilidad permite determinar las debilidades físicas de los componentes del sistema. Solo mediante la determinación de esas debilidades se podrán establecer las medidas correctivas (**diapositiva 27**).

El desarrollo de los criterios para reducir el riesgo de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a desastres naturales, es responsabilidad compartida entre las empresas prestadoras de los servicios y los entes reguladores o instituciones rectoras del sector. Cuando la ubicación de los componentes no es la correcta, la infraestructura colapsará aun sin grandes desastres.

Las vulnerabilidades detectadas en el sistema podrán identificarse de manera cuantitativa o cualitativa para conocer las situaciones de mayor riesgo y establecer prioridades. En cada componente vulnerable se deberá estimar el nivel de daños que podría experimentar frente a un desastre, desde la ausencia de daños hasta la ruina del componente. Este análisis se realiza para un evento específico y para cada componente del sistema analizado (**diapositiva 28**).

Al realizar el análisis de vulnerabilidad es necesario identificar la organización local y nacional para situaciones de emergencia y desastres, sus normas de funcionamiento y recursos disponibles. También es importante caracterizar la zona donde se ubica y a la cual sirve el sistema (distancia a otros centros poblados, estructura urbana, salud pública, desarrollo socioeconómico, servicios, accesos, etc.) y tener la descripción física del sistema con los datos más relevantes de cada componente, su funcionamiento y datos estacionales. En la **diapositiva 29** se muestra un resumen de cómo interactúan las distintas actividades de la gestión del riesgo en sistemas de agua y saneamiento. Se destaca que para la elaboración de planes de respuesta en situaciones de emergencia y desastres, es necesario conocer las amenazas y el impacto de las mismas en los componentes del sistema y su repercusión en el servicio.

El análisis de vulnerabilidad requiere evaluar al menos los siguiente aspectos:

- **Aspectos administrativos y capacidad de respuesta (diapositiva 30)**

Se identificarán las normas de funcionamiento y recursos disponibles, tanto en situaciones normales como durante emergencias y desastres. La capacidad de respuesta de la empresa, en parte, queda establecida por sus medidas de prevención, mitigación y preparativos frente a desastres, por su organización en las tareas de operación y mantenimiento del sistema y por el apoyo administrativo que tenga.

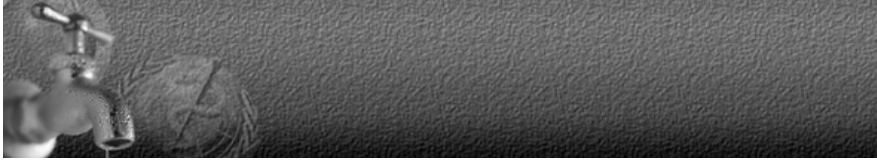
En emergencias, será necesario tomar decisiones y emprender acciones que no podrán seguir los trámites y procedimientos regulares, como pueden ser procesos de licitación pública, facturas, etc. Por lo tanto, se deben considerar procesos administrativos especiales, ya sea que la situación de emergencia sea declarada por la misma empresa o por el gobierno local y nacional.

- **Aspectos físicos e impacto en el servicio (diapositiva 31)**

Una vez identificadas las amenazas naturales a las cuales está expuesto cada uno de los componentes del sistema, mediante estudios técnicos (estudios de vulnerabilidad) se estiman los daños en cada uno de ellos. Al conocer los posibles daños, recién se está en condiciones de establecer el nivel de servicio que la empresa podría prestar durante la emergencia. Ello se podrá estimar en relación con la capacidad remanente y calidad del servicio, dependerá además del tiempo que se tarde en restablecer el servicio, ya sea de manera gradual o total.

- **Medidas de mitigación y emergencia (diapositiva 32)**

Sólo una vez que se tengan caracterizadas las amenazas y los posibles daños en los sistemas, se podrá diseñar e implementar las medidas de mitigación y preparativos para la respuesta frente a la emergencia. Como es económica y técnicamente difícil contar con sistemas que no sufran ningún tipo de daño, será necesario priorizar las medidas de mitigación.



Los resultados de un estudio de vulnerabilidad pueden tener diferentes usos, según los recursos de la empresa o los criterios de sus gerentes. En la **diapositiva 33** se muestran alternativas de uso de los resultados de estos estudios. Se debe evitar que dichos estudios queden como ejercicios académicos y que las autoridades de la empresa ignoren completamente sus resultados.

## **TIPOS DE AMENAZAS Y SUS CONSECUENCIAS EN LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO (diapositiva 34)**

Las amenazas naturales que con mayor frecuencia se presentan en América Latina y el Caribe son: sismos, huracanes, inundaciones, deslizamientos, erupciones volcánicas y sequías. (**diapositiva 35<sup>2</sup>**)

A continuación se describe cada uno de los fenómenos mencionados, los factores que influyen para que se transformen en desastres naturales, cómo afectan a los sistemas de agua potable y saneamiento, y algunas medidas de mitigación y prevención específicas.

### **SISMOS**

Los procesos de generación de sismos pueden ser de diversa índole, sin embargo su poder destructivo dependerá, entre otras cosas, de las características que se mencionan en la **diapositiva 36**, donde destacan:

- Magnitud máxima probable, que corresponde a la cantidad de energía liberada por el movimiento sísmico.
- Intensidad, medida en la escala de Mercalli, que toma en consideración los efectos sentidos por el hombre, los daños en las construcciones y los cambios en las condiciones naturales del terreno.
- Probabilidad de ocurrencia.
- Antecedentes de sismos en la región, incluidas las fallas activas. El historial de sismos es una fuente de datos que debe ser revisada.
- Calidad y tipos de suelo y su potencial de licuefacción.
- Condiciones del agua subterránea, su nivel y variaciones.

Es importante conocer las áreas potencialmente inestables: suelos licuables o saturados, que pueden sufrir desplazamientos, etc. La mayor peligrosidad se asocia a las áreas de fractura, fallas sísmicas, epicentros de terremotos destructivos.

Los sismos pueden producir fallas en el subsuelo, hundimiento del terreno, derrumbes, deslizamiento de tierra y avalancha de lodo. Así mismo, puede reblandecer suelos saturados, lo que ocasionaría daños en cualquier parte de los sistemas ubicados dentro del área afectada.

---

<sup>2</sup> Esta diapositiva es interactiva, por lo cual Ud. podrá seleccionar el tipo de amenaza que sea de su interés presentar.





Los daños que pueden causar en los sistemas de saneamiento son: **(diapositiva 37)**

- Destrucción total o parcial de la estructura de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución. En la **diapositiva 38** se muestran los daños en un planta de tratamiento, la que además de perder todos sus paneles, registró daños severos en la obra civil.
- Rotura de las tuberías y daños en las uniones, con la consiguiente pérdida de agua potable y alteración de la calidad **(diapositiva 39)**.
- Variación del caudal en captaciones subterráneas o superficiales. Cambio de la salida del agua en manantiales.

Daños puntuales, como se muestra en la **diapositiva 40**, pueden llegar a inutilizar todo el sistema, cuando se trata de componentes clave para su funcionamiento.

## HURACANES

Los huracanes ocurren en las cuencas tropicales de ciclones y se originan en el Atlántico norte. Pueden afectar el Océano Pacífico, el Mar Caribe y el Golfo de México. Están definidos por la velocidad sostenida de los vientos, datos de marejadas ciclónicas, alteraciones en el nivel del mar, precipitaciones, efectos en el terreno, etc. **(diapositiva 41)**. La información de eventos históricos es útil para caracterizar la amenaza.

Los efectos del viento pueden dañar principalmente las obras sobre el nivel del suelo; el riesgo aumenta en relación directa con la altura de las obras y con la superficie expuesta al viento y depende principalmente de la resistencia al viento con que se hayan diseñado y construido las obras.

Los huracanes producen distintos daños a los sistemas de saneamiento, como: **(diapositiva 42)**

- Daños parciales o totales en las instalaciones y edificaciones por la fuerza de los vientos o lluvias **(diapositiva 43)**. Algunas veces se pueden presentar daños insospechados en los sistemas **(diapositiva 44)**.
- Roturas y desacoples de tuberías en zonas expuestas y montañosas, debido a correntadas de agua y deslizamientos de tierra.
- Daños en los componentes superficiales, como obras de captación **(diapositiva 45)** o equipos eléctricos **(diapositiva 46)**, que se pueden dañar al entrar en contacto con el agua.
- Contaminación del agua de tanques y tuberías.
- Rotura y falla de componentes por asentamientos debido a inundaciones.

## INUNDACIONES

Las inundaciones son fenómenos naturales que pueden deberse a procesos como las lluvias, huracanes, el crecimiento anormal del mar, deshielos o una combinación de los mismos.

Es importante conocer los factores que modifican la escorrentía de una cuenca: climáticos (variación y patrones de precipitación, intersección, evaporación, transpiración) y fisiográficos (características de la cuenca, condiciones geológicas, topografía, el cauce y capacidad de almacenamiento, tipo y uso del suelo) **(diapositiva 47)**.



El manejo de datos históricos (nivel de lluvias, caudal de los ríos, etc.) y de estadísticas constituye una fuente importante para obtener los factores de diseño. Se debe tener especial cuidado en no descuidar los períodos de recurrencia ni las variaciones de los niveles de agua en la cuenca.

Las áreas de inundación y los cauces afectados constituyen las áreas de mayor peligro; al elegir el sitio de las obras, se debe verificar la calidad del terreno y su área adyacente.

Las inundaciones ocasionan daños por la presencia de corrientes de agua, escombros flotantes, deslizamiento de terrenos saturados, derrumbes, etc. Estos dependen del nivel que alcancen las aguas, la violencia y rapidez con que se desplacen y el área geográfica que cubra.

Entre los daños que ocasionan las inundaciones a los sistemas de saneamiento destacan: **(diapositiva 48)**

- Destrucción total o parcial de captaciones localizadas en ríos o quebradas.
- Colmatación de componentes por arrastre de sedimentos.
- Pérdida de captación por cambio del cauce del río.
- Rotura de tuberías expuestas en pasos de ríos o quebradas.
- Rotura de tuberías en áreas costeras por marejadas y en áreas vecinas a cauces de agua.
- Contaminación del agua en las cuencas.
- Daños en el equipo de bombeo y eléctrico en general.

En general, la escasez o exceso de agua resulta ser un problema para los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento. En caso de inundaciones, los componentes expuestos son los que se encuentran en los lugares de paso o de acumulación del agua **(diapositiva 49)**.

Los propios sistemas de agua potable pueden aumentar la vulnerabilidad de sus sistemas y de la población, como por ejemplo debido a daños en una presa o embalse **(diapositiva 50)**, roturas de tuberías de alta presión o simplemente por dotar de agua sin la correspondiente conexión al alcantarillado a poblaciones ubicadas en terrenos inestables, donde la infiltración satura los suelos y provoca deslizamientos con variadas consecuencias.

Durante las inundaciones, los sistemas de alcantarillado, especialmente los mixtos, pueden obstruirse hasta quedar inutilizados **(diapositiva 51)**. Las obstrucciones y filtraciones en el alcantarillado sanitario representan un riesgo de contaminación de los sistemas de agua **(diapositiva 52)**, especialmente cuando las redes de alcantarillado y agua tienen trazados similares.

Se debe prever que la zona susceptible de ser afectada por la inundación variará a lo largo de los años, dependiendo de la intensidad de las lluvias y el periodo de recurrencia de las mismas **(diapositiva 53)**. Cuando se diseñan las obras del sistema, resulta clave definir el nivel de precipitaciones o crecida del río.

## **DESLIZAMIENTOS**

Este fenómeno no se presenta necesariamente de manera aislada; se puede generar por sismos, lluvias intensas, erupciones volcánicas, por la acción del hombre, etc. Generalmente ocurre en lugares puntuales, por lo tanto, el primer trabajo será identificar los puntos del sistema donde se podrían presentar estos problemas.



Para caracterizar los deslizamientos, es importante conocer la geología de la región en cuanto a relieves con taludes escarpados, acantilados, áreas de concentración de drenaje y filtración, topografía y estabilidad de taludes, zonas de concentración de fracturas; licuefacción debido a sismos y precipitaciones **(diapositiva 54)**.

La exposición de los servicios de agua y saneamiento es alta, sobre todo en regiones en las que las tomas se encuentran en áreas montañosas y las aducciones se instalan en laderas de las montañas hasta llegar a las zonas servidas. En estas zonas, los deslizamientos pueden ocasionar: **(diapositiva 55)**

- Destrucción total o parcial de todas las obras, en especial de la captación y conducción, ubicadas sobre o en la trayectoria de deslizamientos activos, en terrenos montañosos inestables con fuerte pendiente o en taludes muy inclinados.
- Contaminación del agua en las áreas de captación superficial en zonas montañosas.

En muchos casos, la inadecuada ubicación o las filtraciones propias de los componentes de los sistemas de agua provocan deslizamientos que dañan un determinado componente o inutilizan todo un sistema **(diapositiva 56<sup>3</sup>)**.

El hecho de que generalmente los deslizamientos se presenten de manera paulatina, permite que las empresas tengan el tiempo necesario para tomar las medidas de precaución que evitarían daños en los sistemas **(diapositiva 57)**. Sin embargo, los deslizamientos activados por fenómenos naturales imprevisibles, tales como sismos, lluvias intensas, etc. **(diapositiva 58)** no permiten tomar las acciones preventivas del caso, si es que no son consideradas desde su diseño.

Existen medidas para reducir la vulnerabilidad ante deslizamientos, las que varían de acuerdo con las necesidades del caso. Entre ellas se puede destacar **(diapositiva 59)**:

- Trabajos de reforestación
- Construcción o reforzamiento de muros de contención e instalación de drenajes.
- Estabilización de taludes.
- Uso de materiales que se adapten a las deformaciones del terreno cuando se hagan instalaciones en laderas.

## ERUPCIONES VOLCÁNICAS

Las erupciones volcánicas se caracterizan por el tipo de erupción que emanan, naturaleza de la actividad (según la viscosidad del magma y la cantidad de gases desprendidos), torrente de lava (que varía en volumen, extensión, espesor y velocidad de avance), tipo de cenizas, zonas de flujos y caída de cenizas **(diapositiva 60)**.

Hay registros históricos y prehistóricos que dan indicios de la recurrencia de este fenómeno, siendo bastante errática la frecuencia de las erupciones. Sin embargo, la mayoría de los volcanes activos de América Latina y el Caribe están monitoreados de alguna manera, lo cual permite tomar algunas medidas preventivas antes de las etapas más críticas de la fase eruptiva.

Generalmente, las erupciones volcánicas originan desastres en cadena, tales como deslizamientos; avalanchas de barro, nieve y piedras debido al calentamiento y a las vibraciones; y emanación de ceniza, polvo o gases.

---

<sup>3</sup> Esta diapositiva tiene animación automática y tarda 1 minuto en ser presentada.



Se consideran como áreas de impacto aquellas que pueden quedar cubiertas con lava o las afectadas por lluvias ácidas y cenizas, así como los cursos de agua, plantas de tratamiento y estaciones de bombeo.

Entre los daños que pueden producir en los sistemas de saneamiento, destacan: **(diapositiva 61)**

- Destrucción total de los componentes en las áreas de influencia directa. **(diapositiva 62)**.
- Obstrucción de las obras de captación, desarenadores, tuberías de conducción, flocladores, sedimentadores y filtros por caída de cenizas **(diapositiva 63)**.
- Alteración de la calidad del agua por la caída de cenizas.
- Contaminación de ríos, quebradas y pozas en zonas de deposición.

Para reducir estos riesgos se plantean las siguientes medidas:

- Proteger las instalaciones de almacenamiento, ya sea con coberturas permanentes ó temporales **(diapositiva 64)**.
- Implementar sistemas alternos para el abastecimiento de agua, así como para la evacuación de desechos.

## SEQUÍAS

Las sequías se caracterizan por la reducción del agua o humedad disponible, lo que produce la disminución del caudal normal de las fuentes superficiales y subterráneas y el desarrollo de la sequía meteorológica, hidrológica y agrícola **(diapositiva 65)**.

Las áreas de mayor incidencia son aquellas con condiciones secas y suelos con baja retención de humedad. Las sequías ocasionan disminución o extinción de fuentes de abastecimiento de agua. Los cursos de agua superficial, tales como ríos y esteros, sufrirán usualmente el efecto de la sequía mucho antes que las napas de agua subterránea. La sequía puede afectar los sistemas de abastecimiento de agua potable de la siguiente manera: **(diapositiva 66)**

- Pérdida o disminución del caudal de agua superficial o subterránea.
- Pérdida de la calidad del servicio o incremento de costos.
- Racionamiento y suspensión del servicio.
- Abandono del sistema.

Existen algunas medidas de prevención y mitigación, entre las que destacan: **(diapositiva 67)**.

- Conocer las condiciones de los pozos existentes.
- Evaluar la calidad y el caudal de las aguas subterráneas, disponer de equipo que facilite la operación en caso de disminución de su caudal y cuidar la contaminación de las fuentes.
- Establecer fuentes alternativas y la interconexión de las mismas con los sistemas existentes y plantear la posibilidad de perforaciones de emergencia.
- Racionar el consumo de agua entre la población.



## PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE DESASTRES (diapositiva 68)

La reducción de la vulnerabilidad se puede lograr a través de medidas de prevención y mitigación, las que ayudan a corregir debilidades ante la eventual ocurrencia de un desastre y además minimizan el riesgo a fallas en condiciones normales. La mitigación y prevención es producto de un trabajo multidisciplinario y debe ser realizado por profesionales con amplia experiencia en el diseño, operación, mantenimiento y reparación de los componentes del sistema, por lo tanto no se trata de un trabajo aislado si no que debe formar parte de las decisiones de planificación y desarrollo de estos sistemas.

La mitigación y prevención se aplica: **(diapositiva 69)**

- En obras nuevas mediante la aplicación de criterios de prevención en el diseño, ubicación, selección de materiales, trazado y redundancia.
- En obras existentes mediante la implementación de tareas de conservación y mantenimiento, reparación, reemplazo, reubicación y redundancia. Para ello se deben priorizar acciones que consideren:
  - La magnitud de la disminución de la producción con respecto al caudal total de producción (MDP).
  - El tiempo de reparación de la falla del componente averiado (TRF):

$$MDP = \frac{Q_{\text{remanente}}}{Q_{\text{produccion}}} * 100$$

Como unidad de medida de cuantificación del riesgo se definieron los días perdidos de producción (DPP), equivalente a la disminución de la capacidad total del sistema durante el tiempo de reparación de la falla. Este indicador es independiente de la frecuencia de la amenaza y relacionado con la capacidad de reserva permite caracterizar los riesgos y establecer las medidas de mitigación. Como primera prioridad se debe considerar aquellos componentes donde los DPP superan la capacidad de reserva.

$$DPP = MDP * TRF$$

El objetivo de la estrategia de prevención y mitigación es subsanar las debilidades de acuerdo con la frecuencia e intensidad de los fenómenos que se puedan presentar.

En la mayoría de los casos, los problemas que provocan los daños en los sistemas de agua y alcantarillado no están relacionados con el desastre mismo, sino más bien con el hecho de no tomar en cuenta los fenómenos naturales como una variable de la planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de los mismos **(diapositiva 70)**.

Ante la mayoría de las amenazas, es necesario prever la descentralización de los sistemas mediante el establecimiento de fuentes alternas a fin de no interrumpir el servicio. Una forma de obtener lo anterior es dotando de redundancia a los sistemas. De este modo, sí se presentaran daños de un componente o sistema, se pueda contar con otra conexión que podrá ser maniobrada en un tiempo breve para restablecer los servicios. Cabe destacar la utilidad de contar con válvulas de control en lugares estratégicos **(diapositiva 71)**.

El hecho de tener sistemas interconectados o componentes redundantes aumenta el nivel de confiabilidad del sistema y le da mayor flexibilidad y maniobrabilidad para las tareas rutinarias, como las de limpieza o reparaciones, sin necesidad de interrumpir el suministro de agua.



Las actividades de operación y mantenimiento representan una oportunidad ideal para trabajar en la reducción de la vulnerabilidad de los sistemas **(diapositiva 72)**. Sin embargo, algunas situaciones requerirán la ejecución de obras y proyectos especiales orientados exclusivamente a reducir la vulnerabilidad del sistema **(diapositiva 73)**.

Si el estudio de vulnerabilidad detecta un componente altamente vulnerable y si la decisión es no intervenir por razones de costo, la empresa deberá contar, por lo menos, con el material necesario para reponer el componente a la brevedad posible. Por ese motivo, es recomendable que los almacenes de las empresas consideren aquellos materiales y equipos que serán utilizados en emergencias mayores y que sean difíciles de obtener en el mercado nacional. También se recomienda que el almacén de repuestos y accesorios esté descentralizado, que tenga una ubicación estratégica y que esté protegido para que permanezca operativo durante la emergencia **(diapositiva 74)**.

La dificultad de inspeccionar los componentes del sistema demora la recuperación de los mismos, por ende, prolonga el periodo de rehabilitación **(diapositiva 75)**. En el diseño y construcción de las obras de saneamiento se debe considerar la dificultad de acceso a algunas zonas **(diapositiva 76)**.

Ante una emergencia, a fin de reponer el servicio lo más pronto posible, las obras de rehabilitación generalmente se ejecutan sin considerar medidas de mitigación y muchas veces se repite o aumenta el grado de vulnerabilidad que había antes de la amenaza. Las medidas de rehabilitación sin criterios de prevención, exponen a los componentes a iguales niveles de vulnerabilidad y si bien resuelven un problema en el corto plazo, a la larga resultan ser más costosos **(diapositiva 77)**.

Cada vez es más factible evaluar el comportamiento esperado de los componentes físicos de los sistemas de saneamiento, pero será difícil eliminar completamente los daños una vez se presente el desastre. El objetivo de la mitigación de desastres es reducir, hasta donde sea posible, dichos daños. Sin embargo, la empresa no deberá descuidar la planificación de la distribución del agua potable durante el desastre. **(diapositiva 78)**.