

Capítulo 4

Análisis de vulnerabilidad

Introducción

Este capítulo presenta la aplicación de la metodología del análisis de vulnerabilidad para las diferentes clases de amenazas naturales. Se indican los puntos esenciales en los que debe concentrarse el análisis y las referencias donde se encuentra la información necesaria para efectuarlo.

La organización de la información en forma matricial permite visualizar fácilmente los elementos para el análisis de vulnerabilidad. Se utilizan para ello las cuatro matrices descritas en el capítulo segundo y que cubren los aspectos más relevantes del análisis: aspectos operativos, aspectos administrativos y capacidad de respuesta, aspectos físicos e impacto en el servicio y medidas de mitigación y emergencia. Cada una de estas matrices cuenta con un encabezado general con espacio para especificar el nombre y el tipo del sistema que será evaluado. Es importante destacar que los datos requeridos para completar las matrices que analizan los aspectos operativos, administrativos y la capacidad de respuesta son los mismos, independientemente del tipo de desastre natural cuyo impacto se desee evaluar. En el anexo 2 se presenta un ejemplo concreto con las matrices completadas a partir de la experiencia del terremoto de Limón en Costa Rica en 1991.

El proceso de análisis parte por un lado del conocimiento del sistema y sus componentes, de su funcionamiento y por otro de las características de la amenaza natural que potencialmente puede afectarle. Es necesario además conocer el entorno general del sistema en cuanto a aspectos de organización y legislación.

Identificación de la organización y la legislación vigentes

Organización nacional y regional: antes de efectuar el análisis de vulnerabilidad, es necesario identificar la organización nacional y regional, sus normas de funcionamiento y los recursos disponibles que pudieran ser usados para el abastecimiento de agua y evacuación de aguas residuales en situaciones de emergencia y durante la rehabilitación. Es usual, que las empresas de servicios públicos, por ejemplo, cuenten con plantas eléctricas portátiles y maquinaria pesada para la construcción, que pueden utilizarse para las reparaciones del sistema de agua potable o para el alcantarillado.

Normativa legal vigente: en esta etapa se identificará la legislación general para la atención de emergencias y desastres del país y la específica referente a los aspectos particulares de cada fenómeno, tales como:

- i) Legislación y reglamentación referente a la atención de las diferentes fases de las emergencias y desastres: defensa civil, comisiones de emergencia, organización nacional, regional y local, etc.
- ii) Legislación respecto a la responsabilidad civil y penal en el manejo de emergencias y desastres, a nivel de empresa y de funcionario.

- iii) Los códigos y reglamentos sísmicos que se han aplicado y aplican en las nuevas construcciones, así como en los análisis de las estructuras antiguas. Debe investigarse si se encuentran actualizados y si responden al conocimiento actualizado de la sismicidad del país o región. De igual forma, se debe revisar la existencia de normas y reglamentaciones para la construcción en áreas susceptibles a efectos de huracanes e inundaciones, así como las aplicables a áreas de impacto de materiales vulcanológicos que indiquen las características del riesgo probable.

Descripción de la zona, del sistema y su funcionamiento

Descripción de la zona: es deseable caracterizar la zona donde se ubica, y a la cual sirve el sistema de agua potable o alcantarillado sanitario mediante datos como ubicación (distancia a otros centros poblados, región en que se encuentra, etc.); clima (temperatura, precipitación, humedad, etc.); población (tasa de crecimiento, densidad, etc.); estructura urbana (zona residencial, industrial y comercial, tipo de viviendas, etc.); salud pública y saneamiento (servicios de salud, recolección de basura, etc.); desarrollo socioeconómico (actividades socioeconómicas, desempleo, etc.), datos geológicos, geomorfológicos y topográficos. También es importante conocer los servicios con los que cuenta la zona, tales como comunicaciones, vías de acceso, servicios públicos en general, etc.

Descripción física del sistema: en esta etapa se recopilarán los datos físicos del sistema y se describirán los datos más relevantes de cada componente, tales como geometría, materiales, diámetros, masas, anclajes, etc., mediante planos, esquemas y detalles. Se efectuará la descripción del funcionamiento del sistema especificando, junto con los respectivos esquemas en el caso del agua potable, datos como cantidad suministrada, y dotación, continuidad del servicio y calidad del agua. En el caso del alcantarillado sanitario, además de los planos, se incluirán datos como cobertura, capacidad de evacuación, y calidad de efluentes y de cuerpos receptores. Deberán considerarse también las variaciones de las épocas de verano e invierno que pudieran ocasionar diferentes modalidades de operación y de condición de los servicios.

Descripción funcional del sistema: se describirá el funcionamiento del sistema con los datos más relevantes de cada componente, tales como flujos, niveles, presiones y calidad del servicio. Para el caso del agua potable, interesa conocer la cantidad suministrada, dotaciones, continuidad del servicio y calidad del agua. Para el alcantarillado, se debe conocer la cobertura, la capacidad de evacuación, la calidad de efluentes y de cuerpos receptores. En ambos casos, se incluirán las variaciones que puedan presentarse entre las épocas de verano e invierno.

Metodología

Matriz 1A – Aspectos operativos (sistemas de agua potable)

Para el caso de sistemas de agua potable, en la primera columna de la Matriz 1A se anotará el componente analizado, como puede ser la captación, planta de tratamiento, tanque, zona de abastecimiento, etc. En la segunda columna se escribirá la capacidad del componente, utilizando las unidades correspondientes, como pueden ser de volumen (m^3), de caudal (m^3/s) u otras; en la tercera, el requerimiento actual; y en la cuarta, el superávit o déficit, ambos expresados en las mismas unidades empleadas para describir la capacidad. En la quinta columna se detallará lo referente a la existencia y funcionamiento eficiente de sistemas remotos de alerta asociados con cada uno de los componentes, como pueden ser los diferentes sistemas de instrumentación y monitoreo colocados puntualmente en el

componente (sismógrafos, limnímetros, etc.). Es importante destacar que si no existe un componente necesario para el sistema (reservorio, por ejemplo), en la segunda columna sobre capacidad se anotará cero y en la cuarta columna el volumen se registrará como déficit.

En la parte inferior izquierda de esta Matriz se encuentra un detalle de diferentes posibilidades de sistemas de alerta e información hacia la empresa,



José Grases, 1997

Un mal mantenimiento del sistema puede transformar una pequeña fuga en el colapso del sistema.

en términos de relación con otras entidades e instituciones para obtener información oportuna sobre la ocurrencia o desarrollo de fenómenos naturales, con el fin de indicar cuáles de ellos existen y funcionan. En la parte inferior derecha, se especifican diferentes medios de información dentro de la empresa y varias posibilidades de sistemas de información a los usuarios.

Matriz 1B – Aspectos operativos (alcantarillado sanitario)

Para los sistemas de alcantarillado, en la primera columna de la Matriz 1B se anotará el componente analizado: zona de recolección, conducción, planta de tratamiento y disposición final. En la segunda columna se anotará la cobertura para las zonas del área; en la tercera, la capacidad y déficit si lo hubiera; y en la cuarta columna, al igual que en el caso de los sistemas de agua potable, lo referente a la existencia de sistemas remotos de alerta. La parte inferior de esta matriz se llena de igual forma que la anterior.

Matriz 2 – Aspectos administrativos y capacidad de respuesta

Para evaluar las debilidades y limitaciones relativas a los aspectos administrativos de los sistemas, tal y como se plantea en la Matriz 2, es preciso conocer sus normas de funcionamiento y los recursos disponibles que pudieran ser usados para el abastecimiento de agua y evacuación de aguas residuales en situaciones de emergencia, así como en la fase de rehabilitación. La información necesaria para completar esta matriz es la misma, tanto para el caso de los sistemas de agua potable como de alcantarillado.

Organización institucional

En la primera columna de la Matriz 2 se indicarán las fortalezas y debilidades correspondientes a la organización institucional. Se deben diferenciar los niveles central, regional y local y, si es necesario, se elaborarán matrices separadas para cada uno de estos niveles, como se detalla a continuación:

- Indicar la existencia o no de planes de atención de emergencias, especificando, si los hay, las revisiones y actualizaciones periódicas de estos planes
- Indicar la existencia o no de planes de mitigación

- Indicar la existencia o no de niveles de coordinación interinstitucional
- Indicar la existencia o no de una comisión de formulación de planes de mitigación
- Indicar la existencia o no de un comité de emergencias permanente, los miembros que lo conforman y su cargo (usar los espacios disponibles en esa columna)

Operación y mantenimiento

En la segunda columna de esta matriz se detallarán las fortalezas y debilidades correspondientes a los aspectos de operación y mantenimiento para los niveles central, regional y local. Los aspectos relevantes que serán considerados son los siguientes:

- Indicar si los programas de planificación incluyen o no la temática de desastres
- Indicar la existencia o no del tema de desastres en los programas y manuales de operación
- Indicar la existencia o no de temas de desastres en los programas de mantenimiento preventivo
- Indicar la disponibilidad o no de personal capacitado en temas relacionados con la prevención y mitigación de desastres y la atención de emergencias
- Indicar la disponibilidad o no de equipo, maquinaria, materiales y accesorios para llevar a cabo los programas y para la rehabilitación del servicio en caso de emergencia, especificando el tipo de equipo y maquinaria (usar para ellos los espacios disponibles en esa columna).

Apoyo administrativo

En la tercera columna de esta matriz se anotará la vulnerabilidad de los sistemas de apoyo administrativo:

- Indicar la disponibilidad o no de dinero para situaciones de emergencia, insumos y “stock” de emergencia, y detallar el monto reservado con este fin.
- Indicar si existe o no el apoyo logístico de personal, proveeduría y transportes.
- Indicar la disponibilidad o no de contratación ágil de empresas y servicios para apoyar medidas de mitigación y rehabilitación, y detallar un listado resumido de estas entidades, si existen en un registro de proveedores (usar los espacios disponibles en esa columna).

La capacidad de respuesta institucional, para implementar medidas de mitigación y atender el impacto de los desastres, podrá ser evaluada de acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos en estas tres columnas.

Matriz 3 – Aspectos físicos e impacto en el sistema

En el encabezado de esta Matriz se anotará el tipo de amenaza de la zona que pudiera impactar los sistemas físicos de agua potable o de alcantarillado sanitario, así como el área de impacto que corresponde a la zona que ve afectada la operatividad del sistema. Para su estimación se requiere simular eventos posibles y analizar las consecuencias esperadas en el sistema, lo cual se facilita superponiendo los mapas que definen el sistema y los mapas de la intensidad de la amenaza considerada. Además, debe incluirse en esta estimación a la población, instituciones y elementos del medio ambiente potencialmente afectados.

Adicionalmente, en el encabezado se hará la selección de la prioridad general para el análisis, referida al sistema en forma global, categorizada en tres niveles correspondientes a los siguientes niveles de daño:

Tabla 4.1
Efectos de los desastres naturales (OPS, 1982)²¹

Servicio	Efectos esperados	Terremoto	Huracán	Inundación	Tsunami
Abastecimiento de agua y eliminación de aguas servidas	Daños a las estructuras de ingeniería civil	●	●	●	○
	Rupturas de cañerías maestras	●	◐	◐	○
	Interrupciones del suministro de electricidad	●	●	◐	◐
	Contaminación (química o biológica)	◐	●	●	●
	Desorganización del transporte	●	●	●	◐
	Escasez de personal	●	◐	◐	○
	Sobrecarga de las redes (debido a los movimientos de población)	◐	●	●	○
	Escasez de equipos, repuestos y suministros	●	●	●	◐

● posibilidad grave ◐ posibilidad menos grave ○ posibilidad mínima

- **Prioridad 1 (Alta):** más de un 50% de componentes afectados y/o afectación de la captación y de la conducción
- **Prioridad 2 (Media):** entre un 25 y un 50% de componentes afectados, sin afectación de la captación y de la conducción
- **Prioridad 3 (Baja):** menos de un 25% de componentes afectados, sin afectación de la captación y de la conducción

Componentes expuestos

En la primera columna de esta Matriz, se indicarán los componentes expuestos directamente al impacto de la amenaza. Los componentes deben indicarse preferiblemente en el sentido del flujo del agua y catalogados en la forma siguiente: captaciones (diferentes tipos) y sus estructuras, aducciones, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, redes principales de conducción o matrices, y redes de distribución.

Estado del componente

En la segunda columna de esta Matriz se detallará el estado del componente, procurando que se haga en términos descriptivos (por ejemplo, para la tubería de hierro galvanizado indicar si presenta corrosión) sin utilizar categorizaciones relativas como bueno y regular.

Daños estimados

En la tercera columna de la Matriz, se describirán las características del impacto esperado sobre cada uno de los elementos expuestos. La Tabla 4.1 adjunta presenta una ilustración de los tipos de daño que pueden ocurrir en algunos componentes a causa de desastres naturales.

Una descripción detallada de los principales daños que pueden causar las amenazas naturales se ha

²¹ OPS/OMS, Salud Ambiental con posterioridad a los desastres naturales, Publicación Científica, 1982.

realizado en el capítulo 3. Consulte la sección correspondiente (terremotos, huracanes, inundaciones, deslizamientos, erupciones volcánicas y sequías) para completar esta parte de los daños en la matriz 3.

Tiempo de rehabilitación (TR)

En la cuarta columna de la Matriz 3, se escribirá la estimación del tiempo de rehabilitación del componente analizado. La metodología que se presentará a continuación, fue desarrollada en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), como elemento de información sobre la magnitud del daño y las expectativas de rehabilitación en términos de tiempo. Se aplica a componentes estructurales tales como: estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento o tuberías de conducción y distribución, etc. Para cuencas hidrográficas, acuíferos o grandes represas, el método sigue siendo válido aún cuando requiere de análisis especializados.

El tiempo de rehabilitación depende de:

- El tipo y la magnitud del daño, el cual se obtiene después de efectuar un análisis detallado;
- Las necesidades y disponibilidad de recursos humanos, materiales, financieros y de transporte para reparar el daño;
- El acceso al sitio donde debe efectuarse la rehabilitación.

Por estas razones, con frecuencia el TR sólo podrá estimarse en forma de rangos.

El TR, expresado en días, se establece para cada componente afectado del sistema, por lo que será necesario calcular los TR para cada componente y para el sistema como un todo. Se requiere amplia experiencia en: rehabilitación, reconstrucción y reparación, conocimiento detallado del sistema de abastecimiento de agua potable, los recursos disponibles y la capacidad de la empresa para atender estas situaciones con recursos propios, de Defensa Civil y/o de la empresa privada.

Para estimar el TR del sistema, se hará la sumatoria en “serie” o en “paralelo” de los tiempos de rehabilitación de los componentes. Esta sumatoria es en serie cuando la rehabilitación se hace uno después del otro, y en paralelo cuando se realicen en forma simultánea. Esta metodología también se aplica por etapas de rehabilitación; así por ejemplo, puede establecerse el TR para determinado componente al 25%, 50% y finalmente al 100% de su capacidad. Ello se expresa como TR₂₅, TR₅₀ y finalmente TR, que equivale a TR₁₀₀.

Por ejemplo, para el cálculo de tiempos parciales de rehabilitación de una tubería de gran diámetro dañada por deslizamientos, los tiempos a considerar para establecer el TR son los siguientes:

- i) Tiempo de reporte del daño, cierre de válvulas y movilización para iniciar la reparación (personal, equipo, materiales);
- ii) Tiempo de acceso a las zonas afectadas;
- iii) Tiempo de ejecución de las reparaciones (depende de la magnitud del daño y de los recursos existentes);
- iv) Tiempo de espera luego de la reparación antes de reiniciar la operación (por ejemplo: espera de fragua de anclajes);
- v) Tiempo de puesta en operación (llenado de tuberías).

La sumatoria de estos tiempos parciales corresponderá al TR₁₀₀ para la rehabilitación de la tubería al 100% de su capacidad. El TR así calculado servirá para comparar los TR de diferentes daños y determinar los componentes críticos para priorizar la ejecución de medidas de mitigación o reforzamiento. Si durante la rehabilitación, resultan necesarias otras formas de abastecimiento de agua potable, deberá incluirse como procedimiento en el plan de emergencia.

Matriz 4A - Medidas de mitigación y emergencia (Aspectos administrativos y operativos)

Nombre del sistema:

Agua potable

Alcantarillado

AREA	MITIGACION		EMERGENCIA	
		COSTO US\$		COSTO US\$
A) ORGANIZACION INSTITUCIONAL				
B) OPERACION Y MANTENIMIENTO				
C) APOYO ADMINISTRATIVO				
D) ASPECTOS OPERATIVOS				
TOTAL				

El análisis de los diferentes desastres probables en la zona producirá un cuadro general de amenazas, componentes y TR, lo que permitirá determinar cuáles son los componentes críticos del sistema.

Capacidad remanente

En la quinta columna de la Matriz 3 se anotará la capacidad remanente de operación del componente en unidades acordes al componente analizado (como pueden ser de flujo en tuberías, volúmenes en reservorios y tanques) y de porcentaje respecto a la capacidad con anterioridad al impacto del desastre.

El tiempo de rehabilitación (TR) y la capacidad remanente son un buen índice de la vulnerabilidad del componente expuesto.

Impacto al servicio

En la sexta columna, para cada elemento expuesto se indicará el impacto al servicio. Para ello, se tomará en cuenta que el impacto no es únicamente la interrupción total del servicio, sino que este puede verse deteriorado en términos de calidad o de cantidad. La cuantificación del impacto en el servicio se hará entonces mediante la medición del número de conexiones para las que el servicio se ha interrumpido, o para aquellas para las cuales el servicio se mantiene, pero con una disminución significativa de su calidad (deterioro de la calidad del agua, por ejemplo) o de su cantidad (racionamientos de agua).

La información aquí consignada es la clave del análisis de vulnerabilidad y se le deberá poner especial énfasis. Deberá ser elaborada por profesionales con amplia experiencia en operación, mantenimiento, diseño y rehabilitación de sistemas de agua potable, que puedan pronosticar con la mejor aproximación posible las situaciones que generarán las solicitudes externas para determinar los parámetros de vulnerabilidad. Esta información, conjuntamente con el tiempo de rehabilitación, se utilizará en el plan de emergencia para indicar las necesidades de proveer agua por otros medios, el tiempo durante el cual este servicio se deberá implementar, y las conexiones e instalaciones prioritarias de atención del drenaje.

Matriz 4A – Medidas de mitigación y emergencia (aspectos administrativos y operativos)

De manera general, la reducción de la vulnerabilidad operativa y administrativa se puede lograr con medidas como mejoras en los sistemas de comunicación, previsión del adecuado número y tipo de vehículos de transporte, previsión de generadores auxiliares, frecuencia de inspecciones en la línea, detección de deslizamientos lentos tipo repteo, corrección de fugas en áreas de suelos inestables, planificación para atención de emergencias. Es decir, acciones preventivas identificadas en el análisis de vulnerabilidad que además de reducir las debilidades ante la eventual ocurrencia de desastres naturales, optimicen la operación del sistema y minimicen el riesgo de fallas en condiciones normales de servicio.

En esta matriz se plantearán las medidas de mitigación y de emergencia para cada componente analizado o identificado como vulnerable. Para cada caso se indicarán las medidas de mitigación y sus costos estimados, así como las medidas de emergencia y sus costos estimados. Se debe hacer referencia a las medidas de mitigación y de emergencia correspondientes, los aspectos de: (a) organización; (b) operación y mantenimiento; (c) administrativos y (d) aspectos operativos.

Matriz 4B – Medidas de mitigación y emergencia (aspectos físicos)

En la Matriz 4B se sintetizan las medidas de mitigación y de emergencia correspondientes a los componentes físicos; éstos se indicarán en el mismo orden en que fueron analizados en la Matriz 3. Es aconsejable que esta matriz sea llenada por el mismo equipo de profesionales que efectuó el análisis de vulnerabilidad físico.

La Matriz 4B está dividida en dos secciones. En la primera, plan de mitigación, se indicarán las medidas de mitigación para los componentes físicos que pueden corresponder a obras de reforzamiento, sustitución, rehabilitación, colocación de equipos redundantes, mejoramiento de accesos, etc. Junto a cada componente se indicará la prioridad de atención que corresponderá a los que tengan: (a) mayor tiempo de rehabilitación; (b) mayor frecuencia; y/o, (c) componentes críticos, así mismo se indicarán los costos asociados a la implementación de dichas medidas. En la segunda, plan de emergencia, se indicarán las medidas y procedimientos de emergencia necesarios a ser implementados, si el impacto se presentara antes que las medidas de mitigación fuesen ejecutadas.

Algunas de las medidas de mitigación que pueden ser consideradas para reducir la vulnerabilidad por las condiciones desfavorables del estado actual de algunos de los componentes en los sistemas de agua potable y alcantarillado son:

- Reemplazar el componente, equipo o accesorio si su estado de conservación es malo, monitorearlo periódicamente si su estado es regular, p.e. bombas electromecánicas, generadores auxiliares o válvulas.
- Reparar los elementos, equipos y accesorios con funcionamiento defectuoso.
- Reemplazar los elementos, equipos y accesorios no adecuados o sin funcionamiento.
- Adquirir componentes, equipos y accesorios faltantes, por ejemplo generadores auxiliares en zonas de prolongados y continuos periodos de falta de energía eléctrica.

Algunas medidas de mitigación generales que pueden ser consideradas para reducir la vulnerabilidad por el impacto de determinadas amenazas son:

Deslizamientos Activos

- Reubicar si es posible o implementar zanjas drenantes en la zona inestable.
- Construir pequeños muros de sostenimiento para las estructuras o pequeños anclajes de las tuberías.
- Cambiar los elementos rígidos y colocar tubería flexible en trazado sinusoidal.
- Enterrar en roca firme la tubería en caso de laderas muy inclinadas con poco suelo de cobertura.



Osorio, 1997

Las medidas de emergencia que tenga que tomar la empresa para atender un desastre debe asegurar a la población el abastecimiento de agua con las calidades requeridas.

- Forestar y mantener la cobertura vegetal del sitio o de la cuenca. Retirarse del borde y pie de talud muy inclinado.

Inundaciones

- Construir pasos subfluviales de tuberías y desarenadores apropiados.
- Instalar desconexión automática de bombas horizontales.
- Forestar y mantener la cobertura vegetal de la cuenca, elevar el nivel topográfico con rellenos.

Vulcanismo

- Reubicar si es posible o implementar protección como cobertura permanente de tanques de almacenamiento y tratamiento, desarenadores.
- Construir muros de protección y pasos subfluviales de tuberías.

Sismos

- Reforzamiento estructural de los elementos
- Protección del sitio contra deslizamientos, caída de rocas y crecidas.
- Reforzamiento o cambio de los elementos agrietados o contruidos con material de mala calidad y de los elementos o accesorios rígidos.