

La diferencia entre inundaciones lentas e inundaciones súbitas es el tiempo que tardan en manifestarse los efectos desde que comienza a llover hasta que se genera el escurrimiento. Una manera de caracterizar este tiempo es mediante el llamado "tiempo de concentración", que es una característica de cada cuenca. De varios casos registrados (tabla 2), se puede decir que con tiempos de concentración del orden de dos horas, es posible que se presente una avenida súbita.

Más aún, comparando entre inundaciones lentas y súbitas, éstas son responsables de un mayor número de muertes; sin embargo, es evidente que esta clasificación obedece también al tiempo de respuesta de las instituciones de protección civil ya que, por ejemplo, si ante la ocurrencia de una inundación el tiempo requerido es de cinco horas, entonces para ese caso en particular las avenidas que se presenten en menos de cinco horas serán consideradas como súbitas, en caso contrario serán clasificadas como lentas. Con esto queda de manifiesto la importancia de llevar a cabo una vigilancia continua de la lluvia y los niveles en los ríos, en toda la cuenca y de informar y orientar a las autoridades de Protección Civil en estos temas.

Tabla 2. Cuencas identificadas como generadoras de avenidas súbitas

No.	Nombre de la cuenca	cuenca			Longitud [m]	cauce		Tiempo de concentración [h]
		Área [km ²]	Pendiente media			Pendiente media [adim]	Pendiente media [grados]	
			[adim]	[grados]				
ACAPULCO, GUERRERO								
1	Pie de la Cuesta 1	2.8	0.2832	15.8	3325	0.13	7.3	0.37
2	Pie de la Cuesta 2	0.7	0.1724	9.8	1950	0.15	8.7	0.23
3	Coloso	2.3	0.2001	11.3	2350	0.09	4.9	0.33
4	Juan Álvarez superior (Aguas Blancas)	4.5	0.3001	16.7	4000	0.17	9.5	0.38
	Juan Álvarez Total (Aguas Blancas)	9.8	0.2047	11.6	5800	0.08	4.4	0.69
5	Palma Sola-Camarón Superior	9.2	0.3212	17.8	3400	0.15	8.6	0.35
	Palma Sola-Camarón Total	12.6	0.2467	13.9	5700	0.11	6.5	0.59
6	Costa Azul	7.1	0.201	11.4	3450	0.05	3.1	0.53
MOTOZINTLA, TAPACHULA, CHIAPAS								
1	MOTOZINTLA Arroyo Allende	15.5	0.57	29.7	5000	0.21	12	0.42
BAJA CALIFORNIA SUR								
1	Arroyo El Zacatal (hasta el cruce con la carretera)	19.5	0.1687	9.6	8150	0.11	6.1	0.79
MONTERREY, NUEVO LEÓN								
1	Topo Chico	64.5	0.1193	6.8	13630	0.02	1.3	2.14
TIJUANA, BAJA CALIFORNIA								
1	Laureles Superior	2.4	0.2037	11.5	3970	0.04	2.1	0.69
	Laureles total	6.1	0.1962	11.1	6030	0.03	1.9	0.98
2	México Lindo superior	3	0.1873	10.6	3255	0.06	3.6	0.48
	México Lindo total	4	0.2233	12.6	4555	0.05	2.9	0.68
3	Camino Verde	4.3	0.2167	12.2	3410	0.05	2.9	0.53
4	Sánchez Taboada	4.8	0.1327	7.6	3710	0.05	2.8	0.58
5	Pasteje-Aviación	7.7			4440	0.02	1.3	0.9
6	Aguaje de la Tuna superior	12.6	0.2105	11.9	8220	0.05	2.6	1.11
	Aguaje de la Tuna total	14	0.2089	11.8	9120	0.04	2.4	1.24
7	Manuel Paredes	15.5	0.1589	9	10300	0.03	1.5	1.64
Promedios		28.5	0.22628	12.64	5417.38	0.080476	4.59	0.747
Máximo		379.8	0.57	29.7	13630	0.21	12	2.14

Fuente: Eslava, 2004

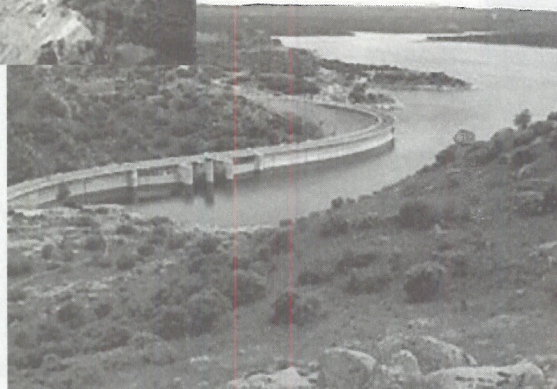
Mitigación de daños por inundaciones

Para llevar a cabo acciones en contra de los daños causados por inundaciones, es indispensable emprender acciones de protección. Éstas pueden ser de dos tipos: medidas estructurales (construcción de obras), o medidas no estructurales (indirectas o institucionales).

El objetivo de las medidas *estructurales* es evitar o mitigar los daños provocados por una inundación, mediante la construcción de obras (usualmente realizadas por las dependencias gubernamentales, ya que se requiere de fuertes inversiones, figura 36). Por ejemplo, para proteger una zona urbana surcada por un río se pueden proponer como medidas estructurales la retención, almacenamiento y derivación del agua, hacer modificaciones al cauce (canalizarlo o entubarlo), construir bordos o muros de encauzamiento y modificar puentes o alcantarillas.



Presas Hidroeléctricas Aguamilpa
(fuente: gobierno del estado de Nayarit)



Fuente: www.mimosa.cnice.mecd.es.

Fig. 36. Ejemplos de medidas estructurales

Por otra parte, entre las medidas *no estructurales* se encuentran aquellas cuya finalidad es informar oportunamente a las poblaciones ribereñas de la ocurrencia de una posible avenida, para que no haya muertes y se minimicen los daños. En este rubro se incluyen los reglamentos de usos del suelo, el alertamiento y los programas de comunicación social y de difusión.

Desde el punto de vista económico, tanto las medidas estructurales como las no estructurales tienen aplicación en las zonas que ya están desarrolladas; mientras que en las áreas poco desarrolladas las segundas muchas veces tienen el mismo o un mayor impacto que las estructurales.

Por ejemplo, en una comunidad con pocos habitantes la construcción de una presa (medida estructural) resulta mucho más oneroso que la reubicación (medida no estructural) de la población.

Concluyendo, se puede mencionar que las acciones estructurales tienden a minimizar los daños de las inundaciones con la construcción de obras, mientras que las no estructurales tratan de hacerlo sin la construcción de éstas.

Medidas estructurales

Dentro de este grupo está cualquier obra de infraestructura hidráulica que ayude a evitar o, al menos, mitigar inundaciones (Salas, 1999). Este objetivo se puede alcanzar de dos maneras:

- Mantener el agua dentro del cauce del río
- Evitar que el agua, que ha salido de los cauces, alcance poblaciones o zonas de interés.

Obras de regulación

Existen obras que interceptan directamente el agua de lluvia o la que escurre por los cauces, para almacenarla en un área previamente seleccionada y, posteriormente, descargarla en forma controlada, es decir, sin provocar o minimizando las inundaciones aguas abajo. Este grupo de estructuras está integrado fundamentalmente por: presas de almacenamiento, presas rompe-picos, cauces de alivio, etc.

Más aún, en los últimos años, las llamadas "obras para el mejoramiento de las cuencas", han cobrado importancia (Francke, 1998). Su objetivo es propiciar una mejor infiltración del agua de lluvia disminuyendo y regulando el escurrimiento superficial para atenuar los efectos negativos de la urbanización. Entre ellas se destacan las siguientes: reforestación, terraceo, presas pequeñas para retención de azolves, etc.



Fig. 37. Presa de almacenamiento.



Fig. 38. Presa reguladora de avenidas (rompe-picos).



Fig. 39. Estabilización de pendientes.



Fig. 40. Cortacorrientes.

Obras de rectificación

Su función es facilitar la conducción rápida del agua por su cauce, dragando los ríos para conservar o incrementar su capacidad. Algunas de las estructuras que forman parte de este grupo de obras son: la rectificación de los cauces (por medio de la canalización o el entubamiento de los ríos, figuras 41 y 42), o bien, el incremento de la pendiente (mediante el corte de meandros).



Fig. 41. Río entubado. Río de la Piedad, México. D.F.



Fig. 42. Rectificación del arroyo Aguadulcita, Agua Dulce, Ver.

Obras de protección

Confinan el agua dentro del cauce del río (bordes longitudinales a lo largo del río, figura 43), o bien evitan que la inundación alcance poblaciones o zonas de importancia (bordes perimetrales).

Medidas no estructurales o Acciones Institucionales

Este tipo de medidas se basa en la planeación, organización, coordinación y ejecución de acciones que buscan disminuir los daños causados por las inundaciones. Pueden ser de carácter permanente o aplicable sólo durante la contingencia. Las principales acciones por desarrollar dentro de este tipo de medidas se relacionan con la conservación y cuidado de las cuencas, la elaboración de mapas de riesgo y reordemaniento territorial, la vigilancia y alerta, la operación de la infraestructura hidráulica, los planes de protección civil, la difusión de boletines de alerta y la evacuación de personas y bienes afectables.



Fig. 43. Bordo longitudinal sobre el río Santiago, Nay.

Acciones permanentes

Se refieren básicamente a la normatividad para el uso del suelo, con lo que se posibilita la delimitación de las zonas inundables bajo diferentes escenarios, relacionando la magnitud del evento con el área afectada (figura 44). El objetivo es que una vez que se ha identificado la zona potencialmente inundable se definan los usos del suelo de acuerdo con el valor económico de los bienes o de las posibles pérdidas generadas por la interrupción o deterioro de la planta productiva.

Recientemente se desarrolló en el CENAPRED una guía para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones y avenidas súbitas, con arrastre de sedimentos

Esta guía básica es una herramienta para identificar los sitios de mayor peligro en una corriente cercana o que cruza alguna población. No trata de sustituir los estudios hidrológicos que determinan el tipo de medidas de mitigación más adecuadas, sino que permite discernir la gravedad del problema al que se enfrentan tanto las autoridades como la población en general (Eslava, 2004).

Describe en forma sencilla cómo identificar un arroyo, su cuenca tributaria, así como su red de drenaje y, con métodos sencillos, explica cómo determinar las características de la cuenca. Posteriormente, considerando mapas de isoyetas en la República Mexicana, para diferentes duraciones y distintos periodo de retorno (Salas, 2001) se cuantifica el escurrimiento a la salida de la cuenca de interés. Una vez calculado el escurrimiento, se determina el tamaño que debe tener el cauce (A_n) para que no ocurran inundaciones.

Una forma de saber si un sitio en particular tendrá problemas por desbordamiento, es comparar el tamaño que tiene el cauce en ese punto (A_c) respecto al tamaño que necesita para que no ocurran problemas de desbordamiento (A_n).

$A_c > A_n$ No se presentan problemas por desbordamiento.

Esto indica que el arroyo cuenta con el área suficiente para que el escurrimiento calculado fluya sin ningún problema.

$A_c < A_n$ Sí se presentan problemas por desbordamiento.

En este caso, el cauce no tiene la capacidad suficiente para dejar pasar el volumen de agua calculado, por lo que se esperan desbordamientos en dicha sección.

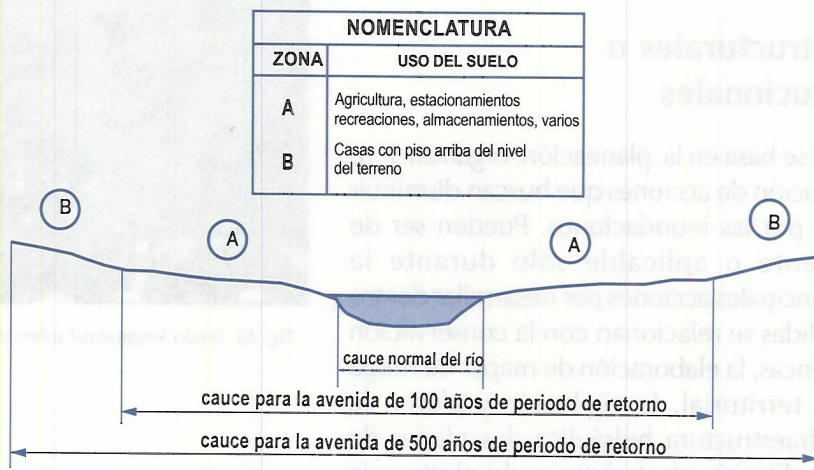


Fig. 44. Reglamentación del uso de suelos (Domínguez, 1990).

Mapas de riesgo por inundaciones

Para estimar el riesgo por inundaciones en una determinada zona, es necesario contar con información referente a dos componentes básicos, *el peligro y la vulnerabilidad*.

Un mapa de riesgo es la representación gráfica de los potenciales daños en un sitio (ciudad, localidad, vía de comunicación, etc.), generados por algún fenómeno natural o antropogénico (inundación, sismo, explosión de material químico, etc.) que lo afecte.

Peligro

En el ámbito de la Protección Civil, la idea de evaluar el peligro significa cuantificar en términos de probabilidad, la ocurrencia, en un lapso dado, de un fenómeno potencialmente dañino para los bienes expuestos.

Al momento de definir el peligro, conviene medir su potencial con una variable denominada "intensidad", ya que la caracterización de un fenómeno está completa si se especifica su intensidad (Ordaz, 1996).

Desde el punto de vista de las inundaciones, el método ideal para la obtención del peligro se basa en la información que se

registra en las estaciones hidrométricas, a partir de las cuales se conoce el escurrimiento y sólo se caracteriza estadísticamente la avenida; sin embargo, en la mayoría de los casos no se cuenta con tal información, por lo que un método alternativo es usar un modelo lluvia-escurrimiento, para lo cual es necesario realizar estudios hidrológicos e hidráulicos.

Una vez definido el periodo de retorno (T_r) de interés, el resultado se reduce a conocer los niveles alcanzados por el agua en cualquier punto dentro de la zona de inundación.

Para facilitar este tipo de análisis, se requieren mapas de precipitación a nivel nacional, para diferentes periodos de retorno y distintas duraciones, como el mostrado en la figura 45.

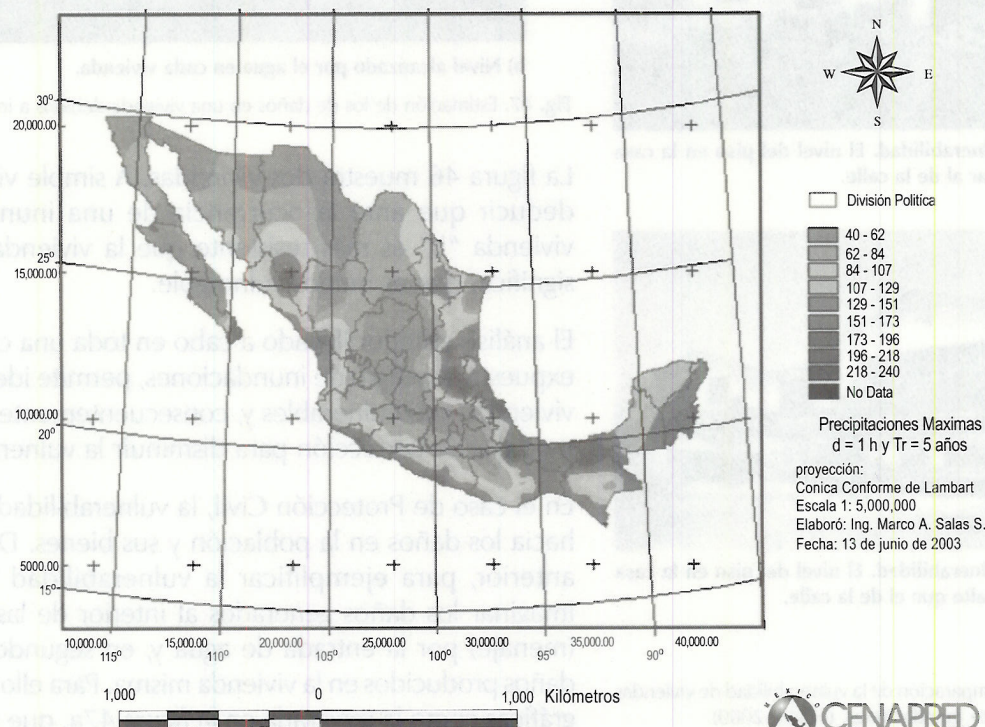


Fig. 45. Mapa de peligro que representa la distribución espacial de la lluvia en el Territorio Nacional para un periodo de retorno de 5 años (Salas, 2001).

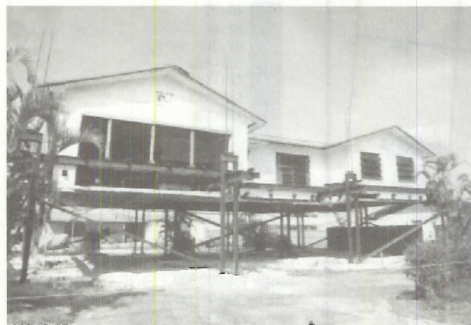
Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es la medida de la susceptibilidad de un bien expuesto a la ocurrencia de un fenómeno perturbador. De dos bienes expuestos uno es más vulnerable si, ante la ocurrencia de fenómenos perturbadores con la misma intensidad, éste sufre mayores daños (Ordaz, 1996).

A diferencia del peligro, que está definido por los patrones climáticos (la naturaleza) y debido a ello es difícil modificarlo, la vulnerabilidad es una variable que el hombre tiene la posibilidad de disminuir.

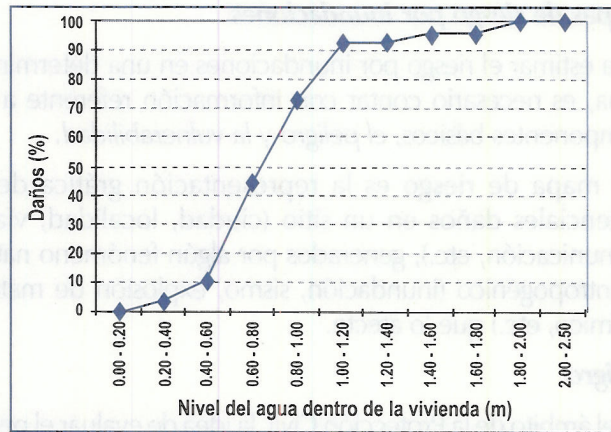


a) Alta Vulnerabilidad. El nivel del piso en la casa es similar al de la calle.



b) Baja Vulnerabilidad. El nivel del piso en la casa es más alto que el de la calle.

Fig. 46. Comparación de la vulnerabilidad de viviendas ante inundaciones. (FEMA, 2000).



a) Porcentaje de daños, por inundación, en una vivienda.



b) Nivel alcanzado por el agua en cada vivienda.

Fig. 47. Estimación de los de daños en una vivienda debidos a inundación

La figura 46 muestra dos viviendas. A simple vista es fácil deducir que ante la ocurrencia de una inundación, la vivienda "b" es más resistente que la vivienda "a", esto significa, que es menos vulnerable.

El análisis anterior llevado a cabo en toda una comunidad expuesta al peligro de inundaciones, permite identificar las viviendas más vulnerables y, consecuentemente, tomar las medidas de corrección para disminuir la vulnerabilidad.

En el caso de Protección Civil, la vulnerabilidad se enfoca hacia los daños en la población y sus bienes. Debido a lo anterior, para ejemplificar la vulnerabilidad basta con imaginar los daños generados al interior de las viviendas (menaje) por la entrada de agua y, en segundo lugar, los daños producidos en la vivienda misma. Para ello se definen gráficas como la mostrada en la figura 47a, que relacionan esos daños con el alcanzado por el agua. A estas gráficas se les denomina funciones de vulnerabilidad.

Para obtener la función de vulnerabilidad, es necesario planear un censo de la población que esté en zonas potencialmente inundables. Para ello, se deberán diseñar encuestas que permitan evaluar los bienes expuestos para cada vivienda, por lo que será necesario emplear trabajadores sociales y encuestadores, así como tener acceso a programas de cómputo necesarios para ir creando las bases de datos que servirán para su ubicación dentro de la zona urbana. Si no es posible lo anterior, se procederá a capturar la información en formatos impresos bien organizados para su rápida consulta, diseñados para tal fin.

Es posible que no se pueda llevar a cabo este tipo de censos, por lo que se podría pensar en clasificar las viviendas en algunas categorías, y de ahí inferir el valor de los bienes expuestos (Salas, 2004).

Este tipo de análisis nos permitiría averiguar porqué los daños de las viviendas de la figura 48 son tan contrastantes.



Fig. 48. Dos tipos de vivienda dañadas por el huracán Isidore.

Riesgo

Es la combinación de tres factores: el valor de los bienes expuestos, **C**, la vulnerabilidad, **V**, y la probabilidad, **P**, de que ocurra un hecho potencialmente dañino para lo expuesto (Ordaz, 1996). De manera simbólica:

$$R = C \cdot P \cdot V$$

donde:

- R** Riesgo ante un evento dado
- C** Costo de los bienes expuestos
- P** Peligro
- V** Vulnerabilidad

La estimación del riesgo puede hacerse a nivel de vivienda, para que al sumarse con el de otras viviendas se tenga una idea del riesgo en una localidad, que a su vez, si se acumula para un municipio, proporcionaría una estimación del riesgo de ese municipio, y así sucesivamente.

De esta manera, se pueden crear mapas de vulnerabilidad, peligro y riesgo, de acuerdo con los alcances anteriormente expuestos.