

III. INTERES ECONOMICO DE LAS MEDIDAS DE PREVENCION

3.1 LOS METODOS ECONOMICOS USUALES

Para hacer frente a los daños y los efectos de todo tipo causados por los desastres naturales pueden emprenderse actividades con objeto de prevenirlos o atenuarlos total o parcialmente según el fenómeno de que se trate y los medios que aplique la colectividad. Esas actividades de prevención son de carácter muy diverso, desde la elección de los asentamientos de población y de las actividades fuera de las zonas peligrosas hasta medidas de protección como la construcción de diques para protegerse contra las inundaciones fluviales, que se utiliza desde la más remota antigüedad, la adopción de procedimientos modernos de protección antisísmica y el establecimiento de sistemas internacionales de alerta contra los tsunamis.

Naturalmente, estas medidas representan un costo para la colectividad que las soporta, costo muy variable según los procedimientos que se apliquen y el carácter y la magnitud del peligro contra el que la colectividad pretende protegerse. En cambio, el no hacer nada, es decir, no realizar ninguna actividad de defensa, no entraña ninguna reducción del peligro que se corre ni, por lo tanto, de los daños probables, salvo que se contemple la posibilidad de "congelar" las zonas peligrosas. Esta última solución parece, en general, difícil, pues las zonas peligrosas suelen ser propicias al desarrollo de las actividades humanas (zonas aluviales, zonas litorales, llanuras de acceso fácil, etc.). Además, suelen llevar ocupadas mucho tiempo y, como se sabe, son muy pocos los países víctimas de desastres, que se hallen en una situación de abundancia de tierras propicias al cultivo, mientras que para la urbanización existe una gama más importante de emplazamientos posibles. Por ende, una solución de ese tipo no puede apreciarse sólo por el ahorro que representa respecto de la adopción de medidas de defensa, sino que ese ahorro debe compararse con las pérdidas de producción, o "deseconomías" que comporta para la colectividad la "congelación" de esas zonas.

Así, parece que toda decisión en materia de lucha contra los desastres naturales plantea, desde el punto de vista económico, una serie de cuestiones o de decisiones sobre:

- ocupar o no las zonas peligrosas,
- nivel de peligro contra el que es necesario defenderse,
- qué tipo de defensa adoptar, cuando hay varios posibles (prevención o protección, sistema de alerta, por ejemplo),
- qué esfuerzos consagrar a la protección,
- cuando existen diversas variantes de un mismo proyecto, cuál de ellas adoptar, etc.

El conocimiento objetivo de los peligros que se corren y de sus efectos, que se han descrito en los capítulos anteriores, permite buscar entre varias políticas o varias soluciones la más ventajosa, si no siempre la solución óptima. Los estudios objetivos relativos a la apreciación de los proyectos desde el punto de vista de la colectividad que se vienen haciendo desde hace 15 años constituyen una aportación preciosa para la solución de este tipo de problema. Examinaremos sus principios, y después los procedimientos de aplicación, con miras a comprender correctamente el interés de la puesta en marcha de actividades de prevención y de defensa contra los desastres naturales en tres casos bastante generales, elegidos a título de ejemplo:

- el de la elección de los asentamientos fuera de las zonas peligrosas,
- el de la realización de una estructura de protección contra las inundaciones,
- el del establecimiento de normas de construcción antisísmica.

Como la primera línea de defensa es evitar las zonas peligrosas cuando ello es posible mediante análisis de vulnerabilidad, las otras dos medidas citadas como ejemplo se refieren más especialmente a las zonas peligrosas ya ocupadas.

3.2 PRINCIPIOS DE APLICACION A LA LUCHA CONTRA LOS DESASTRES NATURALES

3.2.1 Generalidades

En general, estos métodos se encaminan a definir, apreciar y comparar

los diversos efectos:

- positivos, constituidos por "ingresos" o "ventajas"
- negativos, constituidos por "costos" o "gastos"

que entraña la posible realización de las políticas, de las medidas o de los proyectos previstos. Los propios efectos se pueden clasificar esquemáticamente en diversas categorías:

- efectos inmediatos o concentrados en el tiempo, como por ejemplo, el costo de construcción de un dique, o repartidos a lo largo de un período prolongado, como por ejemplo, los costos de funcionamiento de un sistema de alerta,
- efectos cuantitativos, como por ejemplo los daños causados a los inmuebles por un terremoto, o efectos cualitativos, o al menos difícilmente cuantificables, como por ejemplo los efectos a largo plazo para la distribución de los ingresos entre las diferentes categorías sociales, que entraña la adopción de normas de construcción,
- en la medida en que son cuantificables, los efectos se pueden evaluar en términos monetarios; por ejemplo, las pérdidas sufridas en los cultivos, o bien difícilmente o no monetizables, por ejemplo, la reducción de la morbilidad debida a la lucha contra las inundaciones,
- efectos "seguros", o según la terminología del cálculo de probabilidades "conocidos en un futuro seguro", por ejemplo, costo de construcción de una presa (salvo los errores de evaluación de la estructura), o efectos "inseguros", es decir, "conocidos en un futuro inseguro", si dependen directamente de que ocurra un desastre natural, caso general de todos los peligros de daños,
- los efectos conocidos en un futuro inseguro pueden ser "probabilizables", es decir, afectados por una ley de

probabilidad de que ocurran, caso por ejemplo de una zona inundable estudiada durante un período prolongado, o por el contrario totalmente aleatorios a escala humana, caso por ejemplo de la mayor parte de las erupciones volcánicas.

- por último, los efectos pueden apreciarse y compararse en su totalidad desde un solo punto de vista relacionado con un criterio único con o sin limitación, como por ejemplo, relación máxima de ventajas a costos con limitación financiera, o desde varios puntos de vista relacionados criterios múltiples, como por ejemplo, rentabilidad financiera máxima y adecuación a los objetivos de ordenación del territorio (véase el párrafo 3.2.4).

3.2.2 Actualización y valor probable

El enunciado de las consideraciones precedentes pone de relieve la complejidad del problema. A fin de aclararlo y hallar una o varias soluciones satisfactorias, los esfuerzos de los economistas se han encaminado, como en todo fenómeno económico, a simplificar la realidad, a "modelizarla", es decir, a construir una representación simplificada de ella que permita tener en cuenta el mayor número de elementos del problema, reunirlos y sobre todo compararlos para revelar las consecuencias de una determinada política o un determinado proyecto en comparación con otros.

Para ello, los métodos utilizados se clasifican en dos grandes familias, según que el criterio de elección o de comparación sea único o múltiple. Por otra parte, ambas recurren a dos conceptos muy utilizados en los estudios económicos y que recordaremos muy sucintamente:

- el de la actualización
- el del valor medio probable.

La actualización es un método de cálculo que permite comparar y agregar sumas, por ejemplo gastos, que aparecen en fechas diferentes y que, por ende, presentan valores diferentes: disponer de 10 dólares hoy no tiene el mismo valor que disponer de 10 dólares dentro de tres años. Si "a" es la tasa de

actualización, el valor real o actualizado hoy de esos 10 dólares disponibles dentro de tres años será:

$$\frac{10}{(1 + a)^3}$$

Valor medio probable, o más exactamente esperanza matemática de un efecto: en muchos casos en que existen series largas de observaciones, los métodos relacionados con el cálculo de probabilidades permiten asociar al acontecimiento, y por lo tanto a sus efectos, una ley de probabilidad de que ocurra, y después decir, por ejemplo, que por término medio anual a lo largo de un período prolongado en un lugar vulnerable determinado hay:

- una probabilidad sobre 3 de que se produzca una inundación de 1,50 metros,
- una probabilidad sobre 10 de una inundación de 2 metros,
- una probabilidad sobre 100 de una inundación de 5 metros.

Si 10, 30 y 200 son los efectos o los daños causados por estas tres inundaciones en el año estudiado, el valor medio probable de los daños ese año, o esperanza matemática de los daños, será teóricamente la suma de esos daños ponderados por su probabilidad respectiva, o sea:

$$\left(10 \times \frac{1}{3} \right) + \left(30 \times \frac{1}{10} \right) + 200 \times \frac{1}{100} = 8,33$$

o más en general:

$$\int e(h) dH(h)$$

donde $e(h)$ = efecto causado por la inundación de altura h

$dH(h)$ = probabilidad de que ocurra una inundación de altura h si se admite aquí que el efecto de una inundación dada en un lugar dado no depende más que de su altura. No se trata más que de una primera aproximación, pues naturalmente en los efectos destructores de una inundación intervienen otros parámetros (violencia de las corrientes, estación en que se produce, intervalo entre dos inundaciones, etc.).

3.2.3 Criterios de elección

Una vez enfocados estos dos conceptos fundamentales, no recordaremos más que los métodos de evaluación de criterio único y en los que todos los efectos son cuantificables, monetizables y probabilizables.

En el caso en que el fenómeno es puramente "aleatorio", es decir, el caso en que no cabe asignarle ninguna ley de probabilidad, no existe de hecho un método económico que permita comparar políticas ni proyectos de defensa, y apreciar a priori la rentabilidad para la colectividad, y durante mucho tiempo habrá que contentarse con no apreciar más que los riesgos que se corren y los daños posibles en tal caso, y relacionarlos cualitativamente con el costo de los medios de defensa que pueden reducir el peligro o aumentar la protección.

Los métodos de criterios múltiples son, en sí, una generalización de los métodos de criterio único: en general, además muchas veces convendrá completar el enfoque del "monocriterio" con un enfoque "multicriterio" que permite apreciar los proyectos según otros puntos de vista, y en general hacer que en muchos casos aparezcan los arbitrios políticos indispensables. Por otra parte, en el capítulo IV del presente estudio damos un resumen de la integración de los aspectos económicos vinculados a los desastres naturales en la planificación física.

3.2.4 Los métodos de apreciación de criterio único y de futuro probabilizable

Los métodos utilizables y utilizados también se dividen en dos grandes familias:

- análisis costos-beneficios encaminado a establecer una relación $\frac{\text{beneficios}}{\text{costos}}$,
- cálculo económico o comparación de estados económicos.

Pese a que sus fundamentos teóricos y sus condiciones de aplicación son muy diferentes, estos dos métodos presentan de hecho múltiple puntos de convergencia y están, en la práctica, lo bastante cerca uno del otro en el caso presente, habida cuenta de la precisión que se busca, de la insuficiencia de los datos disponibles en general y del larguísimo período al que deben referirse los cálculos.

Mientras que el método de la relación costos-beneficios, más antiguo y más clásico, pero más pragmático, consiste en evaluar en determinadas condiciones los diferentes costos y beneficios y en calcular la relación de estos últimos con los primeros en valores actualizados, el método del cálculo económico constituye un enfoque teóricamente más justificado del problema, fundado en la variación de la satisfacción de los individuos y de la utilidad colectiva entre dos o varios estados de la economía que se han de comparar. En este sentido, aunque suponga algunas hipótesis en general fácilmente admisibles en el caso presente, ofrece sobre todo el gran mérito de presentar de manera clara y sistemática la investigación y la evaluación de diferentes efectos respecto de la economía en su conjunto.

Sin entrar en detalles de la justificación y las condiciones de aplicación de este método, recordaremos sencilla y esquemáticamente las fases fundamentales de esta comparación:

1. Definición del conjunto económico para el que debe examinarse el interés de la política, de las medidas o del proyecto de prevención o de protección de que se trate: región, país o conjunto de países.
2. Definición y descripción del estado de referencia escogido como base de comparación: la situación de referencia corresponderá, por ejemplo, a la situación en que no se pone en marcha ningún proyecto ni medida y a la evolución natural de ese estado con el tiempo (libre asentamiento de los individuos y de las empresas sin tener en cuenta los peligros que se corren, falta de estructuras de protección, etc.).

3. Averiguación y descripción de los diferentes agentes económicos afectados por esa política o ese proyecto: hogares, empresas de producción, empresas de transportes, servicios públicos, Estado, otros países, etc.
4. Definición y descripción de los diferentes estados o soluciones de la economía que se deben comparar en relación con el estado de referencia: cada uno de ellos puede corresponder, por ejemplo, a políticas, medidas, proyectos diferentes de prevención o de defensa, a variantes de esos proyectos, a otras ubicaciones posibles, etc.
5. Evaluación de la variación de los costos, los beneficios y los ingresos de los diversos agentes económicos interesados, entre la solución de referencia y las soluciones que deben compararse.
6. Evaluación del interés o del balance económico de las diferentes soluciones. Ese interés, después, se medirá, conforme a determinadas hipótesis, por la suma actualizada de las variaciones de los ingresos (o de las esperanzas matemáticas de ingresos respecto de los elementos que se conocen en probabilidad) de los diferentes agentes económicos nacionales afectados por el paso de la economía del estado de referencia a los estados que se han de comparar, que se aumentará en la suma actualizada:
 - en los posibles excedentes debidos a las variaciones de precios
 - en el valor del suplemento de factores de producción utilizados, en particular mano de obra y tierras.
7. Por último, esta evaluación se complementará oportunamente según los casos mediante:
 - un análisis de la sensibilidad de los datos

obtenidos a determinados parámetros o variables,

- la consideración de los diferentes valores de la tasa de actualización, que permita también calcular, respecto de cada solución examinada, su tasa de rentabilidad interna en relación con el estado de referencia; recordemos que éste es el valor de la tasa de actualización respecto de la cual el interés económico definido y medido como antes es nulo,
- una toma en consideración, si no una evaluación, de los demás efectos cuantitativos no monetizables y cualitativos inducidos por el proyecto y en particular de los efectos sobre la distribución del ingreso y el medio ambiente.

Por último, se considerará que una solución es interesante o "rentable" para la colectividad si su saldo económico parece ser positivo. Entre dos soluciones, la mejor será la que ofrezca el mayor valor de ese saldo, a reserva naturalmente de los exámenes complementarios que se efectúen en el último punto de la aplicación.

3.3 ILUSTRACION DE LOS PRINCIPIOS DE APLICACION DE LOS METODOS ECONOMICOS

3.3.1 Elección de los asentamientos

De manera general, y siempre que resulte posible, la elección de los asentamientos fuera de las zonas peligrosas o en las zonas menos expuestas debe ser lo que más preocupe al planificador. Antes de pensar en construir estructuras de protección costosas, es importante crear las condiciones para una elección sistemática de los asentamientos antes de toda operación de urbanización o de industrialización, dado el peligro de desastres. Esta elección debe relacionarse con un análisis de vulnerabilidad compuesto que se debe integrar en un proceso de planificación espacial, de cuyos aspectos se tratará en el párrafo 4.3 de la presente monografía.

En el caso de proyectos concretos de inversión, los métodos económicos

antes descritos constituyen entonces un complemento precioso de este análisis de vulnerabilidad, pues permiten apreciar y formular una evaluación del saldo económico de una ubicación, en relación con otra, al comparar por una parte los costos complementarios que soporta en caso necesario la colectividad como consecuencia de la realización de la operación en una zona menos expuesta y, por la otra, la reducción de los daños probables, o incluso su supresión total.

De forma global y simplificada, el interés económico de realizar la operación proyectada en una zona menos expuesta en lugar de en una zona peligrosa se medirá por la expresión:

$$I = D_0 - D_1 - C$$

en la que los términos son sumas actualizadas y representan:

D_0 = esperanza matemática de daños y pérdidas de todo tipo en la zona peligrosa, comprendidas las pérdidas humanas,

D_1 = esperanza matemática de esos daños y pérdidas en la zona menos expuesta, de forma que D_1 es naturalmente inferior a D_0 ,

C = costos suplementarios de construcción y de funcionamiento en la zona menos expuesta (suplementos posibles de costos de construcción en una zona en pendiente, por ejemplo; costos de acceso de enganches suplementarios, costos de transporte, pérdidas de tiempo, etc.).

Naturalmente, los resultados de esa comparación, y en consecuencia del interés de la elección de los asentamientos dependerán mucho del caso de que se trate: operaciones de urbanización, establecimiento industrial, carácter, magnitud y duración de la repetición de los desastres, carácter de los daños, pérdidas en vidas humanas, etc., y por ende resulta difícil establecer reglas generales.

3.3.2 Realización de una estructura de protección contra las inundaciones

Examinemos el caso de una colectividad nacional que trata de proteger, por

ejemplo, un valle contra las inundaciones mediante una presa que impida las crecidas. Los poderes públicos se plantean, naturalmente, la cuestión del interés de esta operación y de la elección de la mejor variante posible (ubicación, altura de la presa, etc.).

En el estado de referencia que se elige como base de comparación, esta presa no se ha construido, y los diferentes agentes económicos están expuestos a conocer, con el tiempo, diferentes daños, variables según la frecuencia y la intensidad de las crecidas, la estación en que se producen, la manera en que se suceden diferentes crecidas, el futuro desarrollo económico del valle, etc.

En un estado final o solución para comparar, la estructura se realiza en una ubicación o conforme a una variante bien definida. Después permite, habida cuenta de sus condiciones de explotación, prevenir completamente o atenuar las crecidas de una cierta intensidad; en consecuencia se reducirán la importancia y la probabilidad de que ocurran los daños sufridos por esos agentes económicos. Además, esa realización puede permitir, según el caso que se estudie, utilizar mejor determinados factores de producción (tierras, aguas, mano de obra, etc.) actualmente subutilizados o no utilizados a plena capacidad. Puede también, según se conciba, originar un excedente: mejoramiento de los costos y el tiempo de las comunicaciones, reducción del precio de determinados productos agrícolas, por ejemplo. En general, el interés económico de una variante dada se medirá conforme a la fórmula simplificada siguiente:

$$I = A - C - F - E + (D_0 - D_1)$$

en la que todos los términos son sumas actualizadas, a la tasa de actualización elegida:

A = beneficios obtenidos por los agentes económicos gracias a la realización de la operación: excedentes, valor de los complementos de los factores de producción utilizados, variación del ingreso de las empresas nacionales de obras públicas, etc.

C = costos de las inversiones necesarias, incluidos si procede los gastos necesarios para restablecer las comunicaciones,

las indemnizaciones pagadas a los propietarios de los terrenos o de los inmuebles afectados por la retención del agua, etc.

F = costos de funcionamiento y de mantenimiento de las estructuras.

E = esperanza matemática de los costos de volver a poner en marcha excepcionalmente esas estructuras.

D_0 = esperanza matemática de los daños y las pérdidas de todo tipo causados a los agentes económicos por las inundaciones en el estado de referencia, comprendidos los costos de los socorros, el valor del tiempo perdido, etc.

D_1 = esperanza matemática de esos mismos daños y pérdidas después de la eliminación de las crecidas.

La evaluación de esos diferentes términos, naturalmente con una precisión mayor o menor, no presenta en general dificultades especiales, por poco que se conozca relativamente bien el régimen de las crecidas y que se disponga de términos de referencia sobre el pasado o sobre otros casos comparables.

A continuación damos, a título de ejemplo, los resultados generales de una evaluación de ese tipo sobre un caso concreto. Se trataba, en 1965, de verificar el interés de la realización de una presa para la eliminación de las crecidas en un valle del centro de Francia, la presa podría construirse en tres puntos diferentes que darían tres niveles de protección diferentes; se formularon tres hipótesis sobre la tasa media de desarrollo económico del valle en el futuro.

Precio 1965 en millones de Francos Tasa de actualización 7%	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Costos de construcción de la presa (1)	21,5	33,0	40,0
Costos de explotación y de mantenimiento (1)	2,8	2,8	2,8
Daños relacionados con el embalse (1)	4,6	12,3	24,1
Vuelta a poner en marcha excepcional (1)	0,6	0,9	1,1
Disminución de los daños y las pérdidas causados por las inundaciones (2)			
Tasa anual de crecimiento: 3,5%	31,3	34,1	36,3
Tasa anual de crecimiento: 4%	36,6	39,8	42,9
Tasa anual de crecimiento: 4,5%	43,9	47,7	50,8
Interés económico = (2) - (1)			
Tasa de crecimiento: 3,5%	+ 1,8	-14,9	-31,7
Tasa de crecimiento: 4%	+ 7,1	- 9,2	-25,1
Tasa de crecimiento: 4,5%	+14,4	- 1,3	-17,2

En conclusión este ejemplo demuestra el interés de un enfoque de este tipo para la adopción de decisiones relativas a la construcción de estructuras de protección y a la elección óptima entre diversas variantes posibles.

De hecho, la realización de esas estructuras sigue siendo una operación importante para los países, sobre todo para los países en desarrollo, pero se trata de una operación cuyos resultados no siempre son evidentes.

Así, se ha observado en determinados países que los capitales comprometidos en la lucha contra las inundaciones en los últimos años han sido

superiores al valor de los daños causados por las crecidas. Esto se puede explicar por el hecho de que últimamente se han llevado a cabo obras para la protección contra crecidas que ocurren cada 30 o cada 100 años, cuya rentabilidad no puede manifestarse sino al cabo de un largo período, salvo que las estructuras se hayan dimensionado mal. Esto pone de relieve el interés de los estudios económicos previos, que deben permitir la selección de los proyectos y la elección de sus ubicaciones y sus características. Ese enfoque es tanto más indispensable en los países en desarrollo cuanto que en ellos, por definición, escasea el capital disponible. Ello sirve para destacar aún más la necesidad de averiguar si no se pueden ocupar zonas no expuestas antes de proteger las zonas expuestas mediante estructuras costosas.

Por último, debe señalarse que en un ejemplo como el de una presa de protección se habrán de tener en cuenta las consecuencias negativas de la construcción de esa estructura: peligro de enfermedades relacionadas con el agua, consecuencias ecológicas (efectos sobre la fauna y la flora, aumento de la temperatura del agua, etc.). Esas consecuencias pueden apreciarse en la fase de la adopción de decisiones mediante un análisis con criterios múltiples.

3.3.3 Definición de normas de construcción antisísmicas

Ya se han realizado importantes investigaciones técnicas para la protección de los edificios y las estructuras contra los peligros sísmicos: han dado lugar en diversos países a un reforzamiento de las prescripciones promulgadas en los códigos de la construcción.

Los países en desarrollo expuestos a los peligros de este tipo tienen una tendencia a transponer en sus códigos nacionales las prescripciones establecidas en los países más desarrollados. En la medida en que efectivamente se aplican esos códigos, no corresponden forzosamente a las necesidades características de cada país, sea debido a las diferencias entre tipos de construcción, sea debido a las posibilidades económicas de esos países, sea debido a que muchas veces es posible evitar las zonas peligrosas e instalarse en otras zonas en las que no se imponen esos códigos.

Existe el peligro de que un reglamento demasiado severo no se aplique efectivamente debido a los costos suplementarios que implica; no es seguro que corresponda a un óptimo económico desde el punto de vista de cada país de que se trate. También en este caso el cálculo económico debería contribuir a adaptar la reglamentación antisísmica a las condiciones particulares características de cada país: peligro sísmico, tipo de construcción, nivel de desarrollo económico, etc.

A esos efectos, cabría tratar de acercarse a la solución óptima sin alcanzarla forzosamente, pues la técnica antisísmica progresa de forma empírica al comparar diversos sistemas o diversos niveles de protección con objeto de adoptar el mejor, desde el punto de vista de la rentabilidad económica.

Esto nos lleva a echar las bases de ese cálculo económico, que consiste en aplicar el método de la comparación de los estados económicos en la forma simplificada siguiente:

$$\underline{I = S - C - M}$$

en la que los términos son sumas actualizadas y representan:

I = el interés económico para la colectividad de la adopción de esas normas antisísmicas

C = el suplemento de costo de construcción con normas antisísmicas

$S = \sum_i p_i S_i$ = esperanza matemática de las reducciones de pérdidas y daños

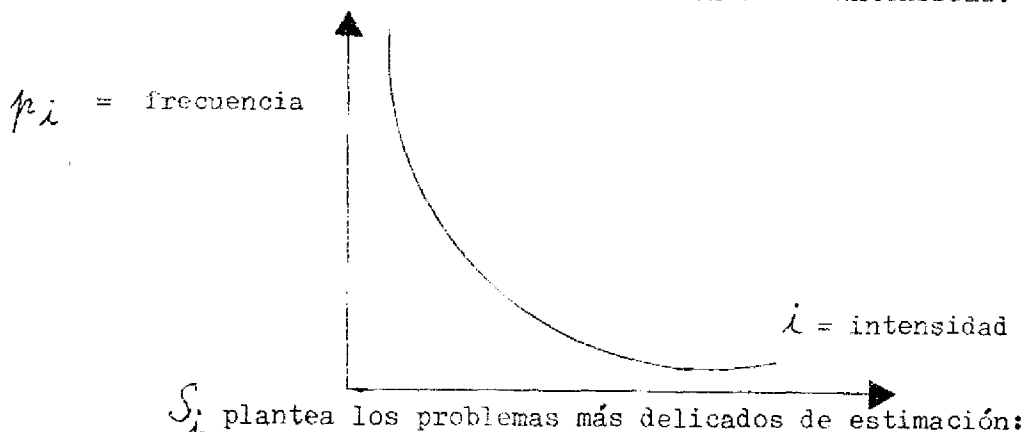
p_i es la probabilidad de que ocurra un seísmo de intensidad i dada que pueda afectar en la región estudiada a un edificio construido sin normas antisísmicas, o en las condiciones actuales del país tomadas como situación de referencia

S_i es la variación de los daños causados a los edificios entre la situación de referencia y las hipótesis de aplicación de normas antisísmicas (el edificio puede no sufrir ningún daño, o daños menores)

En el término $\int \lambda$, único elemento positivo de la fórmula que pone de relieve los beneficios, conviene integrar en valor los beneficios previstos por las vidas humanas salvadas, habida cuenta del destino del edificio y de su medio ambiente. Entonces nos enfrentamos con el problema del valor de la vida humana, problema que sin duda es teórico, pero que no conviene olvidarlo por el pretexto de que "la vida humana no tiene precio"

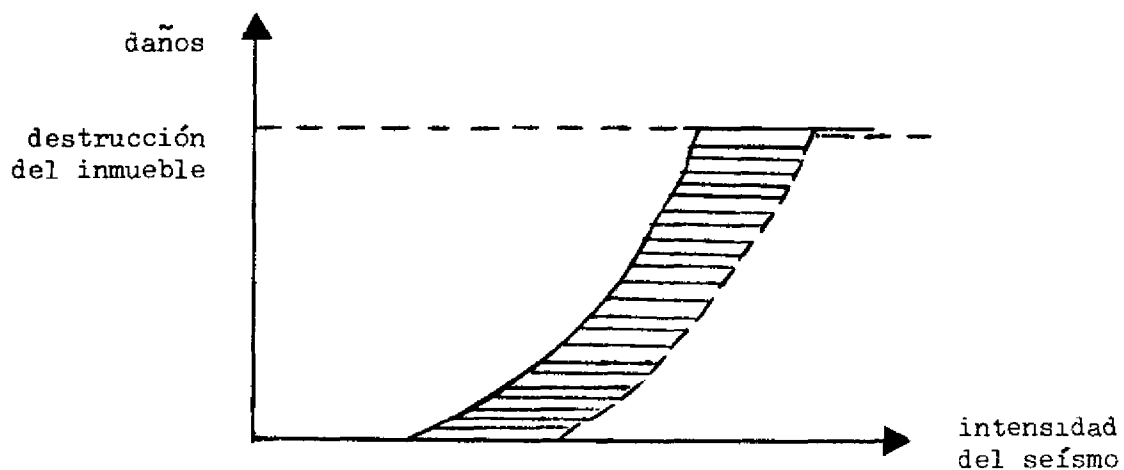
M = gastos suplementarios de mantenimiento y de explotación del inmueble ocasionados por la aplicación de normas antisísmicas; esta diferencial puede ser negativa y en tal caso constituir un ahorro. El cálculo de este tipo debe efectuarse a lo largo de un período correspondiente por lo menos a la duración de vida del inmueble. Al igual que en todo cálculo económico, el valor de los resultados vale lo que valen los componentes del cálculo. Ahora bien, estos se estiman con grados de precisión diferentes: se puede evaluar bastante bien la diferencial del costo de inversión C, pero con bastante menos precisión la diferencial del valor de mantenimiento y explotación. Pero no es posible formular otra cosa que estimaciones respecto de los demás términos a través de un análisis de vulnerabilidad.

per es estadísticamente estimable a partir de los datos históricos sobre los terremotos de una región, como las crónicas de observatorios sísmicos vecinos, cuando los hay, y series históricas que puedan llegar a abarcar varios siglos (Filipinas posee, por ejemplo, información sobre la región de Manila que remonta al siglo XVII). Las series históricas deben permitir la estimación de las curvas de frecuencia de los seísmos en función de su intensidad.



Componentes "daños"

Esta estimación depende muchas veces de observaciones hechas sobre los daños causados a edificios a consecuencia de seísmos de diversas intensidades. Un edificio de un tipo dado reacciona de forma diferente en función de la intensidad del seísmo: vibraciones que entrañan la rotura de cristales, caídas de revestimientos de las fachadas, fisuras, etc., hasta la destrucción total del inmueble. Esos daños se pueden expresar en valor monetario en la curva siguiente, en función de la intensidad de los seísmos:



Paralelamente, se puede estimar la reacción de un mismo edificio construido conforme a normas antisísmicas definidas, que naturalmente también dependen del tipo de suelo.

Los daños son nulos hasta un cierto nivel de intensidad; por encima de ese nivel, existe el peligro de que se produzcan determinados daños, y el inmueble puede derrumbarse si las intensidades son muy grandes (curva punteada)^{6/}.

El ahorro bruto previsto está representado por la superficie rayada entre las dos curvas, en el entendimiento de que cada nivel de intensidad debe ponderarse por la probabilidad de aparición p_i , probabilidad tanto menor cuanto mayor es la intensidad.

^{6/} Prevención y mitigación de desastres, volumen 3: Aspectos sismológicos.
Naciones Unidas, Ginebra, 1977.

Componente "pérdidas de vidas humanas y heridos"

Este segundo término debe introducirse en el factor S_i y su evaluación, en la solución de referencia y en la solución sometida a prueba, depende del tipo de daños causados al inmueble, que puede alcanzar a los ocupantes del inmueble y de los alrededores, así como del destino que se dé al inmueble: viviendas, escuela, hospital, oficinas abiertas al público o no abiertas al público, industria, etc., de manera que se deberían tener en cuenta diversos tipos de inmuebles, no sólo en cuanto a su forma, sino en cuanto a su finalidad.

Como la ocupación de los edificios varía según el día de la semana y la hora, debe asignarse a los peligros de accidentes un coeficiente que corresponda a la frecuencia de ocupación, así como a la aparición de temblores previos que permitan a los habitantes evacuar rápidamente los inmuebles.

Que sepamos, no existe un ejemplo concreto y completo en el que se haya tratado este problema, pese a ser fundamental para los países con escasos recursos de capital. Pero un cálculo esquemático puede poner de relieve el interés de que se realice.

Imaginemos, por ejemplo, un inmueble de viviendas en una zona expuesta a una actividad física, tomando como términos:

C = valor del inmueble por metro cuadrado de piso,

M = valor de los bienes muebles por metro cuadrado de piso,

p = suplemento de precios de construcción por metro cuadrado que acarrea la adopción de normas antisísmicas que eviten el derrumbamiento del inmueble en todos los seísmos cuyo lapso de repetición es superior a la vida normal del inmueble, es decir, por lo menos de 100 años.

T = lapso mínimo de repetición de los seísmos que entrañan su destrucción si no hay procedimientos antisísmicos,

d = densidad de ocupación del inmueble, o número de personas por metro cuadrado,

n = porcentaje de personas presentes en el momento de los seísmos,

V = el "costo" medio de la vida humana,

- s = porcentaje de seísmo que entrañan la destrucción del inmueble, no precedidos de temblores de advertencia que permitan a los habitantes salir a tiempo del inmueble,
- t = lapso de repetición de los seísmos que no ocasionan sino daños ligeros o moderados a los bienes, muebles e inmuebles, de no haber normas antisísmicas,
- c = daños causados por estos últimos seísmos a los bienes inmuebles, por metro cuadrado de piso,
- m = daños causados por esos mismos seísmos a los bienes muebles,
- c' = daños causados a los bienes muebles, por metro cuadrado de piso, por los seísmos cuyo lapso de repetición es T,
- m' = daños causados por esos mismos seísmos a los bienes muebles,
- y a = tasa de actualización.

La aplicación del cálculo económico permite entonces dar un buen indicador del interés de la adopción de normas antisísmicas por la fórmula:

$$I = \frac{c + m}{at} - \frac{c' + m'}{aT} + \frac{C + M}{aT} + \frac{n \text{ ds } V}{aT} - P$$

es decir, que esas normas serán rentables para la colectividad si:

$$\frac{P}{C} \cdot T \leq \frac{1}{a} + \frac{M}{ca} + \frac{T}{t} \cdot \frac{c + m}{aC} - \frac{c' + m'}{aC} + \frac{n \text{ ds } V}{aC}$$

Así, la aplicación de métodos económicos hace que aparezca un resultado importante que debe orientar el establecimiento de normas antisísmicas en la construcción, a saber, que: la adopción de esas normas está tanto más justificada cuando el producto del suplemento (expresado en porcentaje del costo total de la construcción) por el lapso de repetición de los seísmos que ocasionan la pérdida de la construcción es inferior a determinado límite, función de las características de la vivienda, de sus habitantes, de la actividad sísmica de la zona y de la tasa de actualización. Ese mismo límite es, naturalmente, tanto más elevado cuanto mayores sean la actividad sísmica y el potencial humano y económico en la zona de que se trate y más baja sea la tasa de actualización.

Para terminar este párrafo se puede tratar de dar un orden de magnitud de este límite, a título de ilustración sobre un ejemplo de edificio:

$$\begin{aligned} \text{Si } \frac{M}{C} &= 0,5, \\ \frac{T}{t} &= 2, \\ \frac{c + m}{C} &= 0,15, \\ \frac{c' + m'}{C} &= 0,10, \\ d &= 0,04, \\ s &= 0,75, \\ \frac{V}{C} &= 80, \\ \text{y } n &= 0,50, \end{aligned}$$

Vemos que:

$$\frac{P}{C} \cdot T \leq \frac{2,9}{a}.$$

Y, por seguir con este ejemplo, con una tasa de actualización del 14%, si el lapso de repetición de los seísmos es de 100 años, la adopción de normas anti-sísmicas estará justificada si no entraña un suplemento de costo de la construcción superior al 20%; si el lapso de repetición es 200 años, este suplemento, en cambio, no deberá pasar del 10%, y si es de 300 años, del 7%.

Señalemos, por último, que la fórmula permite evaluar la tasa de rendimiento interno de esas normas, es decir, el valor de la tasa de actualización que anula el saldo actualizado de la operación, y después compararla con la de otros proyectos o medidas de prevención. Por ejemplo, en el caso precedente, si el suplemento del costo de la construcción es del 10% para protegerse contra seísmos cuya periodicidad es de 200 años, la tasa de rendimiento será del 14,5%.

A la inversa, estas fórmulas permiten evaluar, respecto de normas antisísmicas dadas y en un contexto económico y físico dado, el valor que se atribuye implícitamente a la vida humana.