

# INDICE

# ECONOMIA

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| ARTICULOS | ENRIQUE DE LA PIEDRA. La pobreza: diversidad de enfoques para un solo problema   | 9   |
|           | W. PAUL STRASSMANN. Restaurantes, snack bares y tiendas al menudeo familiares: su contribución al ingreso y al empleo en Lima.       | 63  |
|           | ROSEMARY THORP. Políticas de ajuste en Perú, 1978-1985: los efectos de una crisis prolongada   | 81  |
|           | MAXIMO VEGA-CENTENO Y MARIA ANTONIA REMENYL. Análisis económico de los terremotos: enfoque metodológico e implicaciones de política. | 117 |
| RESEÑAS   | IVAN RIVERA. Macroeconomics de Robert Barro  | 175 |

# ANALISIS ECONOMICO DE LOS TERREMOTOS: ENFOQUE METODOLOGICO E IMPLICACIONES DE POLITICA

MAXIMO VEGA-CENTENO  
MARIA ANTONIA REMENYI \*

## 1. *INTRODUCCION: LOS FENOMENOS SISMICOS Y SU IMPACTO ECONOMICO*

Los movimientos sísmicos y sus secuelas producen, como es bien conocido, diversos efectos indeseables para una sociedad. Entre éstos, muertes, lesiones, desórdenes y traumas sociales y psicológicos, así como pérdidas y destrucción material, son inmediata y variadamente percibidos.

Los daños sociales, culturales y humanos son muy difíciles de estimar desde un punto de vista económico, dado su carácter, muchas veces irreparable. Igualmente a causa de las complejas y necesarias referencias a valores y circunstancias políticas, sociales y personales; dificultades que no cuestionan, por supuesto, su importancia primordial. Sin embargo, estos daños tienen implicaciones económicas que van más allá de una comprobación instantánea, pues plantean los problemas de la reposición o del reemplazo, que puede ser difícil, lento y costoso. Ese es el caso de la desaparición o incapacitación de personal en la producción, de la redistribución forzosa y violenta de cargas y responsabilidades familiares y de la destrucción, total o parcial, de monumentos de valor histórico o arqueológico y facilidades socio culturales, por ejemplo.

La destrucción física, por su parte, si bien no es sencilla de evaluar en

---

\* Profesores del Departamento de Economía de la Pontificia Universidad Católica del Perú. El presente trabajo es una versión resumida del informe de investigación preparado dentro del Programa para la Mitigación de los Efectos de Terremotos en la Región Andina (SISRA) y en particular en el proyecto de Evaluación de los Efectos Económicos de los Terremotos en América Latina (ECOSIS). Este proyecto fue patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). En la elaboración de este estudio participaron nuestros colegas Janina León y Juan Pizarro del Departamento de Economía de la Universidad Católica del Perú. Igualmente, hemos recibido el apoyo y colaboración del Ing. Alberto Giesecke, Director del CERESIS.

términos económicos, tiene implicaciones más claras en ese campo. En efecto, la destrucción parcial o total significa en primer término, pérdida de valor o depreciación brusca de las estructuras físicas, lo cual plantea su reparación o reposición, con costos y plazos fuera de servicio, de importancia variable y en un momento en que no está previsto afrontarlos. En segundo término, esa destrucción puede afectar a infraestructuras, instalaciones o equipos productivos y entonces hacerlo en diferente medida, es decir paralizando totalmente, amortiguando o reduciendo el ritmo de actividades o bien generando efectos perturbadores como desorganización, desabastecimientos y otros fenómenos. Se trata pues de daños o pérdidas funcionales que reducen la productividad. Más aún, pérdidas o destrucción localizadas, por ejemplo en un sector, una industria, o una planta específica, inducen paralización o reducción del ritmo de funcionamiento en actividades eslabonadas, incluso si se encuentran fuera de la región afectada o muy distantes.

El fenómeno de efectos en cadena compromete por tanto áreas importantes y en las etapas inmediatas a la ocurrencia de un evento sísmico destructor, provoca una reasignación de recursos, tanto para asegurar la actividad impostergradable de socorro, como porque se alteran en el país entero, las prioridades de inversión y de provisión de servicios. En este sentido hay pues efectos económicos directos e indirectos más amplios que los inmediatamente perceptibles y que operan a más largo plazo.

Por otra parte, los daños consecutivos a un sismo generan una demanda por inversiones destinadas a la reconstrucción o al desarrollo de las zonas afectadas, lo cual induce una aceleración de las industrias productoras de materiales, insumos y equipos necesarios (dentro o fuera de la región o del país) y, además, movilizan fondos de inversión que en proporción importante (en el caso de países sub-desarrollados) no son provenientes de ahorros propios. Hay pues un flujo de capital proveniente del exterior en condiciones particulares y breve plazo. Igualmente, se abren posibilidades de reorientar y acelerar el proceso de desarrollo, por el hecho de que se deciden en forma conjunta, o por lo menos contemporánea, inversiones cuyo monto y contenido resultan fundamentales.

Se pueden reconocer, por tanto, efectos negativos como positivos sobre la economía en el corto y en el largo plazo, lo cual no puede llevar en ningún caso, a convertir en deseable la destrucción. Hay de todas maneras costos sociales irreparables y costos económicos que se deben cargar a la propia zona afectada o a las que, dentro o fuera del país, ofrecen ayuda (pérdidas de oportunidad) para hacer posible la reconstrucción en un período razonablemente corto.

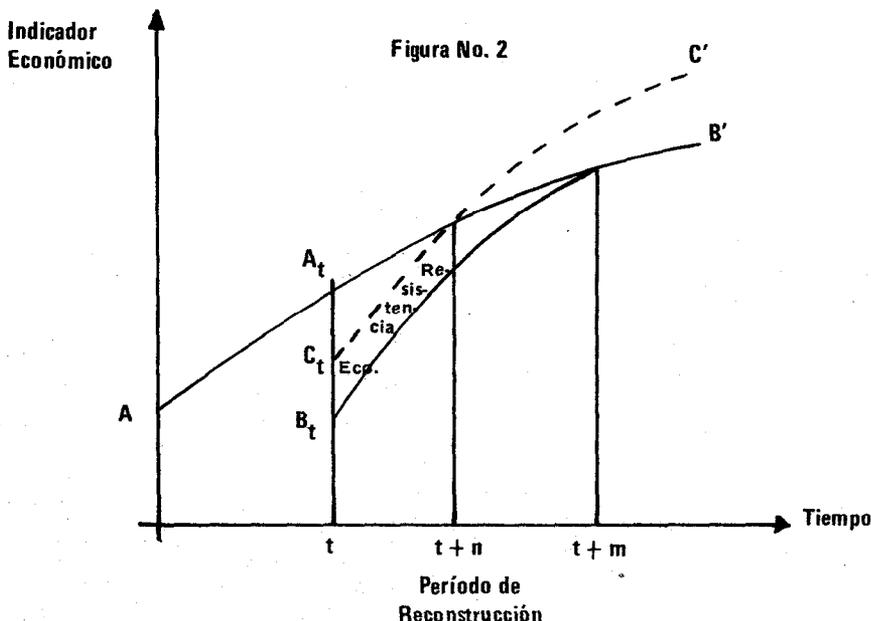
En efecto, si se toma como referencia las tendencias de crecimiento de los indicadores económicos o se acepta que ese desempeño refleja la capaci-



que el indicador elegido, a partir de  $B_t$  evoluciona a  $B''$ , que es superior a  $B'$  nivel de recuperación solamente.

Esta descripción de efectos, que tomamos de un trabajo de Y. Sakagami y sus asociados<sup>2</sup> admite que no siempre la destrucción es total (lo cual llevaría la caída del índice a cero). Incluso admite que las consecuencias adversas del mismo pueden ser menores en la medida que las estructuras físicas sean capaces de absorber sacudimientos y que la organización y localización de las actividades permita mitigar efectos de destrucción y paralización. Si estas condiciones se cumplen, las pérdidas económicas se pueden reducir e igualmente, acortar los períodos de reconstrucción.

En estas condiciones, el nivel que antes habíamos definido como el de pérdidas económicas, viene a constituir el de las "pérdidas potenciales" o máximas, y en realidad se verifica otro nivel de pérdidas reales (Figura No. 2). Las "pérdidas potenciales" pueden estar definidas ex-ante por la magnitud del terremoto y por las características estructurales de las construcciones e instalaciones, así como por el patrón de actividad económica.



2. Sakagami, Y.; Kuribayashi, E.; Ueda, O. & Tazaki, T. *Fundamental Factors in Optimizing Earthquake Disaster Mitigation Investment*. Twelfth Joint Meeting of U.S. - Japan Panel on Wind and Seismic Effects, UJNR, Washington D.C. 1980.

La menor destrucción o pérdida económica observada, con respecto a la esperada, se define como la "resistencia económica". Esta se puede explicar por el dinamismo interno de la economía, por la disponibilidad y variedad de recursos, la diversificación de actividades y la capacidad financiera y técnica para afrontar la reconstrucción y rehabilitación. Notemos que aún si las curvas reales de evolución de los indicadores fueran menos claramente crecientes, a mayor "resistencia económica", se puede esperar un breve "período de reconstrucción" y probablemente asociarlo con menores costos. Parecería pues evidente la conveniencia de elevar la resistencia económica, allí donde la ocurrencia de eventos sísmicos es posible<sup>3</sup>, con el fin de mitigar la secuela de efectos directos e indirectos, para la región y para el país afectados.

El análisis económico de los sismos o bien el análisis de sus efectos económicos, está pues confrontado con desafíos diversos, de tipo conceptual y estadístico, en lo estrictamente económico; y además, lo está con el asumir, operacionalizar e integrar información, conceptos y conclusiones analíticas provenientes de otras disciplinas, principalmente la Sismología y la Ingeniería sismo-resistente. La primera debe aportar información y criterios sobre la naturaleza de los movimientos sísmicos, los períodos de recurrencia<sup>4</sup> y la probabilidad de ocurrencia de los mismos en el tiempo y en el espacio; y la segunda sobre la localización adecuada y los requisitos estructurales, deseables y practicables, en presencia de amenaza sísmica.

No se trataría pues sólo de una imputación económica de daños materiales, aparentemente simple, sino de desprender algunas implicaciones sobre el funcionamiento de la economía y de su desarrollo, así como las que generan comportamientos y decisiones anteriores a los eventos sísmicos.

En la segunda sección presentamos el enfoque analítico que adoptamos, por considerarlo relevante para el estudio de situación que implica riesgo. El marco así definido nos permitirá exponer ordenadamente nuestros resultados y reflexiones.

## 2. EL ENFOQUE ANALITICO

Si se supone, como parece razonable, que es importante para una colectividad y sus integrantes, mantener por lo menos, o bien incrementar, mejorar y diversificar su actividad productiva, parece lógico plantearse algunas preguntas. La primera, acerca de cuánto, cómo y cuándo debería gastar esa co-

---

3. O en general, eventos naturales destructores.

4. Es decir, los plazos probables en que puede volver a ocurrir un sismo de características e intensidad dada, puesto que se trata de fenómenos asociados con una causa o estructura sismogénica permanente.

lectividad para asegurar continuidad y/o crecimiento de sus actividades, ya que esas condiciones no están aseguradas a priori, es decir existen riesgos. La segunda, que cambia la circunstancia solamente, es acerca de si el volumen y la estructura de su gasto en el pasado han sido consistentes con la aspiración de continuidad y si se han mostrado eficientes frente a ocurrencias o eventos destructores o paralizantes, es decir, cuál ha sido su valor previsional. Una tercera pregunta aún, sería acerca de los costos que generan decisiones que tienen en cuenta los riesgos de ruptura o discontinuidad y las consecuencias, costos también, que generan unos y otros, una vez producidos esos fenómenos, ya que las decisiones se toman con información incompleta y frente a la incertidumbre.

En realidad, la eventual (elemento de incertidumbre) ocurrencia de eventos que afectan o condicionan la consecuencia de las decisiones económicas y la selección de estas mismas, están estrechamente asociadas y pueden ser consideradas conjuntamente, como lo propuso originalmente L. Savage<sup>5</sup>. En otras palabras, un agente económico debe elegir una alternativa (tomar una decisión o actuar) en medio de circunstancias exteriores actuales (constituyen información) y frente a circunstancias exteriores futuras, probables o verosímiles solamente, que pueden ejercer influencia sobre las consecuencias (utilidad, rentabilidad, permanencia o mantenimiento de la capacidad de operación, u otra) de la decisión tomada o de la alternativa elegida; y finalmente, debe afrontar esas consecuencias, es decir, cargarlas al activo o al pasivo individual, colectivo o nacional.

En el caso de la incidencia de eventos sísmicos sobre la economía, nos parece interesante utilizar este enfoque porque en las zonas de actividad sísmica observada, las decisiones están, por lo menos en alguna medida, afectadas por la ocurrencia eventual (verosímil) de un sismo; es decir, se trata de decisiones tomadas frente a un riesgo potencial. Por otra parte, si ocurre efectivamente un sismo, se desencadenan efectos que varían, por lo menos en parte, con el contenido previsional (localización, reforzamiento de estructuras y otras medidas de seguridad), de las decisiones. Finalmente, con o sin la ocurrencia de eventos sísmicos, queda por evaluar la eficiencia social de decisio-

- 
5. L. Savage, *Foundations of Statistics*, New York, J. Wiley & Sons, 1954. Una presentación sintética y una discusión de sus posibles aplicaciones se encuentra en J. Drèze, "Econometrics and Decision Theory". *Econometrica*, Vol. 40, No. 1 (Jan 1972), pág. 1-17. Igualmente en J. Hirshleifer & J.G. Riley, "The Analytics of Uncertainty and Information — An Expository Survey" en *Journal of Economic Literature*, Vol. XVII (Dec. 1979), pp. 1375—1421, sobre todo la sección 1.1 (Decisión Under Uncertainty), pp. 1377—1384.

nes, las consecuencias de elecciones alternativas, consecuencias que están condicionadas por la ocurrencia de eventos no controlables.

Son pues tres conjuntos de elementos que debemos tomar en cuenta, a saber, los *actos* o decisiones económicas, ligados a la voluntad o al comportamiento de los agentes; la ocurrencia de *eventos* o hechos exteriores que escapan a su control y que determinan la eficiencia de las decisiones; finalmente, las *consecuencias*, o la evaluación del resultado de haber tomado una decisión, dado que ocurre un evento. El problema de decisión es entonces el de elegir el acto, es decir, definir las condiciones en que un acto sería preferido a otros en un mundo en que es posible la ocurrencia de eventos que modifiquen el medio en que se tomó la decisión, y por otra parte, cuando hay una expectativa o alguna restricción sobre las consecuencias. En el caso que nos ocupa, los actos o las decisiones, pueden ser por ejemplo, la edificación en altura o en extensión en una zona de actividad sísmica y de hacerlo, o no, utilizando diseño, materiales y técnicas constructivas antisísmicas. Los eventos son, ciertamente la ocurrencia dentro de un período, de un sismo de magnitud cualquiera, es decir desde la no ocurrencia ( $M = 0$ ) hasta la ocurrencia de uno catastrófico. Es evidente que el resultado del acto, digamos la construcción de un edificio reforzado implica mayor costo de habilitación que si no lo fuera, pero asegura que resista en mayor medida los efectos de sacudimiento, si se produce. La seguridad o el menor daño vendrían a justificar a posteriori la elección inicial de alternativas, pero es indudable que una previsión de consecuencias posibles, explicitadas a priori, puede contribuir a elecciones razonables y consistentes.

Con el fin de asegurar la utilidad y la coherencia del esquema se imponen habitualmente algunas condiciones hipotéticas:

- i. Existe un conjunto de actos posibles ( $A_1 \dots A_i \dots A_I$ ) entre los cuales se puede establecer un pre-orden simple, condicionalmente a la ocurrencia de un evento.

$$A_i \succ A_h \quad | \quad E_j$$

- ii. Existe una distribución de probabilidades asociada con la ocurrencia de un conjunto de eventos posibles ( $E_1 \dots E_j \dots E_J$ ) mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos

$$\Pr [ E_j ] \quad \forall j = 1 \dots J$$

- iii. Existe un conjunto de consecuencias ( $C_{ij}$ ) que se desprenden de la realización de un acto  $A_i$  cuando ocurre el evento  $E_j$ , y se puede establecer un pre-orden simple entre consecuencias

$$C_{ij} \succ C_{hj}$$

Una representación sintética de la forma cómo se afronta el problema de decisión es la de un cuadro de doble entrada en que las cabezas de fila y de columna son la lista de actos y de eventos posibles respectivamente y en que la intersección de línea y columna corresponden a la consecuencia que genera un acto, dada la ocurrencia de un evento.

| Actos | Eventos        |                |          | Consecuencias |
|-------|----------------|----------------|----------|---------------|
|       | $E_1$          | $E_j$          | $E_J$    |               |
| $A_1$ | $C_{11} \dots$ | $C_{1j} \dots$ | $C_{1J}$ |               |
|       | $\vdots$       | $\vdots$       | $\vdots$ |               |
| $A_i$ | $C_{i1} \dots$ | $C_{ij} \dots$ | $C_{iJ}$ |               |
|       | $\vdots$       | $\vdots$       | $\vdots$ |               |
| $A_j$ | $C_{j1} \dots$ | $C_{jj} \dots$ | $C_{jJ}$ |               |

Los actos se concretan en alternativas con contenido previsional o sin él, e implican diferentes niveles de costos; la elección refleja el grado de información, la actitud frente al riesgo, así como la capacidad técnica y económica de los agentes (aunque se puede pensar en un orden de preferencia socialmente valedero). La información sobre los eventos es de naturaleza probabilística, se apoya en las observaciones históricas y los aportes recientes de disciplinas como la Geofísica, y específicamente la Sismología. En todo caso parece plausible establecer numéricamente la probabilidad de ocurrencia de sismos de magnitud dada dentro de períodos de referencia establecidos. Finalmente, las consecuencias se pueden representar como una función de valores reales, función de rentabilidad, función de pérdidas o bien con un conjunto de valores o de índices que reflejen el excedente de satisfacción o beneficio, o aún el

de insatisfacción o pérdida en que incurra un agente en razón de su decisión y de la ocurrencia de un evento.

Con las precauciones técnicas apropiadas, este modelo conduce al Teorema de la Utilidad Esperada o Teorema de la Esperanza Moral que permite establecer el orden de preferencia entre los actos y en ese sentido, es un instrumento muy importante para orientar la toma de decisiones. Así, para conjuntos finitos de actos y eventos, este Teorema establece que la Esperanza Matemática de Utilidad de los actos es el criterio para establecer las prioridades. En efecto, si  $C_{ij}$  opera como un índice de utilidad, su producto con la probabilidad de ocurrencia de un evento,  $\Pr [ E_j ] C_{ij}$  refleja la utilidad ponderada del acto  $A_i$  asociada a la ocurrencia probable de  $E_j$ . Por lo mismo la Esperanza Matemática de utilidad del acto  $i$  está asociada con la probabilidad de ocurrencia de los diferentes eventos y estará dada por

$$E [ A_i ] = \sum_j \Pr [ E_j ] C_{ij}$$

para cualquier acto  $A_i = (A_{i1} \dots A_{in})$ ; y la preferencia se definirá si

$$\sum \Pr [ E_j ] C_{ij} \geq \sum \Pr [ E_j ] C_{hj} \Rightarrow A_i \geq A_h$$

Consecuentemente, si fuera posible efectuar un cálculo numérico de las Esperanzas Matemáticas de Utilidad de los actos, sería posible definir un orden de preferencias inequívoco. Para el caso que nos interesa podemos considerar, básicamente, las decisiones de Inversión como actos, y la rentabilidad de éstas como consecuencias.

De acuerdo con las premisas del modelo, y sobre todo con las implicaciones que se desprenden de este Teorema, es posible descomponer el problema de decisión en cuatro etapas:

- a) Definir una medida de probabilidad sobre los eventos, en nuestro caso, sobre la ocurrencia de sismos de magnitudes dadas, en un período.
- b) Definir la utilidad de las consecuencias mediante algún indicador o índice de rentabilidad o de pérdidas.
- c) Definir el conjunto de actos posibles, en términos de las características sismo resistentes de las estructuras y de los costos implicados; y
- d) Calcular las Esperanzas de utilidad para definir el acto preferible, los rangos de dispersión y sus implicaciones.

Es evidente que el modelo es directamente útil para evaluar la conve-

nencia de adoptar decisiones que comprometen un futuro incierto, es decir, para preparar decisiones. En el caso de decisiones previamente adoptadas y concretadas en la habilitación de estructuras físicas, el modelo puede servir para evaluar, a partir de consecuencias observadas, el carácter adecuadamente previsional o innecesariamente riesgoso de esas decisiones, adoptadas en el pasado.

En todo caso se debe partir de la comprobación de ocurrencia de un evento sísmico y de la probabilidad de ocurrencia de otros. Para eso es necesario establecer relación y adecuar la información sismológica y geofísica a las necesidades del análisis económico y estimar las probabilidades de ocurrencia de sismos en zonas determinadas. Esa es la información sobre el evento condicionante, probable, que elaboramos y presentamos en la tercera sección.

En la cuarta sección analizaremos las consecuencias económicas inmediatas y subsecuentes de un terremoto, dado que existe un conjunto de estructuras previamente habilitadas. Nos referiremos a los daños o pérdidas económicas, a los efectos económicos de corto plazo (período de emergencia) y a los efectos de largo plazo, es decir al esfuerzo de reconstrucción o rehabilitación.

Finalmente, en la sección quinta trataremos de desprender algunas conclusiones respecto del contenido previsional de las decisiones. Este análisis se hará en base tanto a las pérdidas que ocasiona un sismo, como a la naturaleza que puede adoptar la reconstrucción y teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia de sismos en la región.

### **3. RIESGO SISMICO Y PROBABILIDAD DE SISMOS**

Además de la evidencia, comúnmente admitida y ya mencionada anteriormente, de que un sismo importante es generador de efectos negativos o catastróficos, debemos añadir ahora que las causas, características y probabilidad de su ocurrencia, son poco y mal conocidas por quienes toman decisiones y, en general, por quienes deberán afrontar las eventuales consecuencias. En estas condiciones, los costos de la seguridad y los riesgos de la displicencia pueden ser elevados, con consecuencias que van más allá de algún caso aislado, ya que alteran los patrones de asignación de recursos e implican también costos de oportunidad.

Es pues deseable incorporar al razonamiento económico, información acerca de los sismos y sus eventuales efectos, y para ello recibir y procesar el aporte de las ciencias que los estudian.

Las Geociencias enseñan que un sismo se produce por la liberación de energía al romperse el equilibrio elástico en alguna zona al interior de la tierra (el foco); el desequilibrio (la energía liberada) se propaga a través de ondas que al llegar a la superficie de la tierra (la zona afectada) producen sacudimientos, vibraciones o trepidaciones que comprometen la estabilidad y la integridad de obras construídas por el hombre, así como fenómenos subsecuentes en la corteza terrestre como derrumbes, agrietamientos, licuefacción de suelos, aludes o represamientos, entre otros. Todos estos fenómenos pueden producir daños, destrucción y pérdida de vidas, según la violencia del movimiento (magnitud, aceleración alcanzada), y la distancia de las zonas afectadas con respecto al foco (Hipocentral o Epicentral) y la duración.

En el estado actual de conocimientos, se consideran diversas teorías sobre el origen de los movimientos sísmicos que permiten explicar fenómenos e identificar zonas de actividad sísmica o de riesgo potencial. Estas teorías sin embargo no pueden establecer criterios de predicción o leyes de recurrencia, dada la naturaleza misma de las rupturas de equilibrio que los originan. Se trata en realidad de "accidentes geológicos" cuya ocurrencia puede ser previsible o verosímil en una zona o área, dentro de un plazo relativamente amplio y de algún rango de magnitudes. Por lo mismo, la ocurrencia de un sismo de una magnitud dada y en un lugar preciso, no puede ser aún establecida anticipadamente con precisión y en razón de algún criterio seguro y científicamente aceptable y por lo mismo en forma indiscutible o inquívoca.

Otro aspecto a tener en cuenta es que, al estado actual de las posibilidades de acción eficaz del hombre, no es imaginable el poder impedir o neutralizar la ocurrencia de sismos, aún si se conocen las causas. Se trata pues de fenómenos inevitables y generadores de efectos potencialmente muy importantes.

Finalmente, tanto la investigación Sismológica, la Tectónica y la Geofísica en general, como la evidencia histórica acumulada, muestran que aún en las zonas de mayor actividad sísmica o de existencia de fenómenos sismogénicos, la ocurrencia de movimientos de magnitud importante, no es altamente frecuente. Si consideramos un período de referencia adecuado desde el punto de vista económico (vida útil) y de la vida física de las estructuras (punto de vista ingenieril), podemos concluir que un terremoto es un evento de baja probabilidad, de súbita ocurrencia y de altos niveles de daño potencial<sup>6</sup>, y es sobre esta base que se deben tomar las decisiones y para ello elaborar la información necesaria.

---

6. Ver al respecto A. Giesecke, "Problemática sísmica", en A. Giesecke y E. Silgado, *Terremotos en el Perú*, Lima, Ediciones Rickchay Perú, 1981, págs. 103 y ss.

### 3.1. Estimación de Riesgos Sísmicos para decisiones de Ingeniería

Habitualmente se estudia el "riesgo sísmico" en alguna zona, entendiendo por tal la probabilidad de ocurrencia de un sismo, o de que el mayor sismo que pueda ocurrir en la zona exceda uno de determinada magnitud (u otro parámetro sísmico), dentro de un período determinado<sup>7</sup>. La evaluación de riesgo sísmico permite establecer estimaciones sobre los períodos de retorno y de probabilidad de afectar a diversos tipos de estructuras. En otras palabras, permite tener una información probabilística sobre la repetición de un terremoto (catastrófico) en una región; o bien sobre la probabilidad de falla o claudicación de estructuras específicas (edificios, redes de tuberías, p.e.). Esta información se sintetiza en los Mapas de Riesgo Sísmico, es decir mapas de *zonificación sísmica* o bien mapas que proporcionan información sobre la amplitud probable de destrucción. Estos últimos corresponden más bien a una *microzonificación sísmica*, que incluyen además información sobre la respuesta local del suelo a una excitación sísmica y pueden modificar, atenuando o ampliando, el efecto del movimiento.

Esta información es directamente útil para definir localización, cimentación, tipo de estructuras, materiales, etc., y por tanto para los que deben resolver los problemas técnicos de la habilitación de establecimientos humanos e infraestructura.

Tomando esta información como básica, pensamos sin embargo que es necesaria alguna elaboración adicional para su correcto y eficaz empleo por economistas o por quienes se preocupan no sólo por la estabilidad física de las estructuras, sino específicamente por su empleo en condiciones normales, por su costo y rentabilidad<sup>8</sup>. Con este fin haremos algunas estimaciones propias sobre la probabilidad de sismos de diferentes magnitudes utilizando básicamente los métodos conocidos, aunque modificando algunos criterios de ordenamiento de la información básica y seleccionando los indicadores que se adecúen mejor a nuestros objetivos analíticos.

---

7. V. Karnik, y T. Algermissen, "Zonificación Sísmica", en UNESCO, *Terremotos: Evaluación y Mitigación de su peligrosidad*, Barcelona, Editorial Blume, 1980, pág. 45. Una presentación más accesible y matizada de lo que es el riesgo sísmico y de los métodos para evaluarlo, se encuentra en A. Giesecke, art. cit., pág. 102-108.

8. Es evidente que las preocupaciones del ingeniero y del economista no son o no debieran ser excluyentes, en el sentido que, por ejemplo, el economista no puede hacer abstracción de la estabilidad física; pero su aporte, como el del ingeniero, es específico, complementario e irrenunciable.

Los estudios de riesgo sísmico parten del establecimiento de zonas o *fuentes sismogénicas*, bajo el supuesto de que, en promedio, la ocurrencia de sismos en el futuro, corresponderá a la historia sísmica de la región. En seguida se estiman las *relaciones de recurrencia* que al vincular la frecuencia (N) con la magnitud de los terremotos (M) permiten evaluar las características sismológicas de la región y calcular los *períodos de retorno*, es decir, el número de años al cabo de los cuales se puede esperar se repita un sismo de una magnitud dada. La estimación de estas relaciones se realiza en base a información sobre los sismos anteriormente ocurridos en la zona o fuente. Las relaciones de recurrencia se pueden estimar como una correspondencia semilogarítmica entre frecuencias y magnitudes, según lo propusieron inicialmente Gutenberg y Richter<sup>9</sup> luego de observar que para la mayoría de distribuciones de frecuencia y magnitud se encontraban ajustes satisfactorios de ese modelo. La relación se escribe

$$\text{o bien} \quad N = 10^a 10^{-bM}; \quad (1)$$

$$\log N = a - bM \quad (2)$$

donde N y M son las observaciones del número de sismos (N) de magnitud M o mayor, ocurridos en la zona y en un período determinado; y donde a y b son parámetros inherentes a la sismicidad de la región. El parámetro a depende del número de eventos, y por lo mismo es sensible al tamaño del área y el número de años considerado; se admite que valores más altos de este parámetro indican mayor actividad sísmica. El parámetro b, por su parte, es la pendiente de la transformación lineal y "está influido más bien por las propiedades físicas del medio y por el propio proceso de generación"<sup>10</sup>.

Si se calculan las variaciones (incrementos) de ambas variables en la relación definida, tendremos:

$$\frac{dN}{dM} = -b(10^{a-10bM}) \frac{1}{\log e} \quad (3)$$

y de aquí

$$\log \left[ -\frac{dN}{dM} \right] = \log \left[ \frac{b}{\log e} \right] + (a - bM) \quad (4)$$

9. Ver C.F. Richter, *Elementary Seismology*, W.H. Freeman and Co. San Francisco, 1958, Cap. 22.

10. V. Karnik y T. Algermissen, art. cit. pág. 27.

$$\log \left[ - \frac{dN}{dM} \right] = a^* - b.M \quad (5)$$

donde

$$a^* = a + \log \left[ \frac{b}{\log e} \right]$$

La expresión (5) nos indica, a través del signo negativo, la menor frecuencia de sismos de gran magnitud y la influencia de fenómenos geofísicos en la sismicidad, ya que el parámetro  $a^*$  tiene significado similar al original  $a$ .

Por otra parte, la relación puede especificarse bajo una forma modificada para tomar en cuenta alguna magnitud inferior, como límite o punto de referencia. En realidad, asumimos que esa referencia existe en la fórmula básica, para  $M = 0$ , y entonces podemos escribir

$$N_0 = 10^{\infty} 10^{-\beta (M - M_0)} \quad (6)$$

o bien

$$\log N_0 = \infty - \beta (M - M_0) \quad (7)$$

con significado similar para los parámetros, y donde  $M_0$  es la magnitud mínima de referencia.

Estimadas estas relaciones para una fuente y un período dado, permiten calcular el período de retorno que, tal como hemos mencionado, es el número de años al cabo de los cuales, en promedio, se puede esperar vuelva a ocurrir un sismo de una magnitud dada; o bien, de una magnitud superior a una pre-fijada, según la fórmula que se emplee.

Los estudios de riesgo sísmico calculan, en tercer lugar, la *atenuación de energía*, considerando que el riesgo está asociado con la forma como se originan y atenúan las ondas sísmicas durante su transmisión<sup>11</sup>. En el supuesto de que la energía liberada en el foco y en el origen del sismo, se pierde o consume al transmitirse, se trata de estudiar el comportamiento de algún indicador de movimiento del suelo (velocidad, aceleración, desplazamiento) en algún lugar de interés. Se supone que el valor del indicador es función de la

11. Ver V. Karnik y T. Algermissen, art. cit., pág. 16. Igualmente L. Casaverde y J. Vargas N. "Zonificación Sísmica del Perú", trabajo presentado al II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-resistente, Lima 1980; y Casaverde, L. y Vargas, J. "Mapa de Distribución Probabilística de Intensidades del Perú", IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Chiclayo, Perú, 1982.

distancia y profundidad del foco y de la magnitud de los sismos. Una expresión muy utilizada para estimar la atenuación de alguno de esos indicadores es la siguiente<sup>12</sup>.

$$X = a_1 e^{a_2 M} D^{a_3} \quad (8)$$

donde X es alguno de los indicadores mencionados, M es la magnitud y D puede ser la distancia hipocentral o epicentral en kilómetros (en este último caso se adiciona un número de kilómetros, variable según la región). Los parámetros  $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$  corresponden a la región y al indicador considerados.

La información que proporcionan las evaluaciones de atenuación se refieren a las características, es decir a la amplitud e intensidad de sacudimiento que puede ocasionar un sismo de una magnitud dada, ocurrido a una distancia y profundidad dadas; por lo mismo es directamente útil para definir las condiciones de resistencia, de estabilidad o de colapso de las estructuras físicas. En ese sentido, el dato de interés viene a ser el máximo valor del indicador, generalmente la aceleración, ya que es el tipo de elemento que determina el nivel y extensión de los efectos destructores.

Finalmente, y en cuarto lugar; se sintetiza la información en *mapas de zonificación o mapas de riesgo sísmico* cuyo contenido y fundamentos pueden variar en alguna medida, pero cuyo destino común es que sean "fácil y directamente utilizables en la construcción y diseño de estructuras"<sup>13</sup>.

Para la construcción de estos mapas se debe obtener una estimación probabilística sobre el mayor sismo que se puede esperar en una región, en un período determinado. En otras palabras, cuál será la sacudida máxima del suelo en un determinado punto, en un número de años, y a un cierto nivel de probabilidad. El problema es pues el de calcular, con aproximación de algún grado de probabilidad, cuán verosímil es que el sacudimiento esperado (a través de un indicador que puede ser desplazamiento del suelo, velocidad o aceleración de las partículas) sea menor o igual a un valor de referencia, dado un sismo de magnitud mayor que una, definida como umbral mínimo de interés; y ello depende de la magnitud del indicador

$$\Pr [ X \leq x; M \geq M_0 ] = F(x) \quad (9)$$

12. V. Karnik y T. Algermissen, art. cit., pág. 16; L. Casaverde, "Riesgo Sísmico del Departamento de Lima", Lima, Tesis de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, 1979, págs. 88-89.

13. V. Karnik y T. Algermissen, art. cit., pág. 42.

donde  $X$  y  $x$  son la magnitud esperada y el umbral de interés del indicador de movimiento; y  $M$  y  $M_0$  las magnitudes observadas y de referencia, respectivamente. Con relación a este criterio se pueden calcular las probabilidades de aceleración (u otro indicador) extrema que, dado el carácter acumulativo de los efectos de la sismicidad, deben ser probabilidades acumuladas.

Para el efecto, en lo que se conoce como el método de Cornell, se divide la fuente o región de referencia en sub-fuentes, suponiendo que habrá una distribución espacial uniforme de ocurrencia de eventos. En seguida se calcula, a partir de las relaciones de recurrencia, el número probable de sismos que puede ocurrir en cada sub-fuente, dentro de un rango de magnitud  $\Delta M$  y, naturalmente para un período de tiempo dado. La evaluación de los efectos probables en cada sub-fuente se realiza mediante las funciones de atenuación y entonces se puede evaluar la probabilidad de intensidades de movimiento que, para sismos de magnitud dada, superen los umbrales definidos<sup>14</sup>.

Si se razona, como es frecuente, en términos de aceleración, la distribución de probabilidades acumulada de aceleración máxima es la probabilidad de que cada una de las aceleraciones generadas por los eventos esperados sean mayores que el umbral, y como se supone que los eventos son independientes e idénticamente distribuidos se puede admitir que

$$F_{\max}(x) = \Pr [ X_i \leq x ]^n \quad (10)$$

siendo  $n$ , variable aleatoria, el número de sismos esperado.

Ahora bien, la probabilidad de que ocurran esos  $n$  sismos, generadores de magnitud de movimiento  $X \leq x$  estaría dada por una distribución de Poisson con tasa de ocurrencia promedio  $\lambda$ .

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!} \quad (11)$$

Entonces, la expresión de la distribución acumulada de magnitudes extremas será

$$F_{\max}(x) = \sum_{n=0}^{\infty} F(x)^n \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!} \quad (12)$$

que se hace

14. La cifra era mayor para 1981, pero incorporaba algunos pagos anticipados de créditos.

$$F_{\max}(x) = e^{-\lambda t} [1 - F(x)] \quad (13)$$

donde  $\lambda$  es la razón de ocurrencia de sismos de magnitud  $M \geq M_0$  y  $t$  el período considerado.

Finalmente, evaluando la función para determinados valores, se obtienen los correspondientes de máxima magnitud del indicador y se pueden establecer los *mapas de igual magnitud esperada* en la zona, valederos por un período y a un nivel de probabilidad.

Los mapas de zonificación sísmica, por consiguiente, delimitan las subzonas dentro de las cuales se puede esperar una cierta intensidad máxima de sacudimiento en el período de referencia y permiten deducir las condiciones de habilitación y de seguridad de las estructuras que se proyectan.

Por lo demás, es necesario tener en cuenta que la evaluación de intensidades se refiere a la propagación de las ondas sísmicas desde el foco hasta el lugar de interés, de manera que, a las excitaciones probables evaluadas, hay que añadir las que resultan de la estructura local del suelo. En efecto, según la naturaleza, consolidada o no, el grado de humedad o nivel freático, etc., puede ocurrir que, en lugares específicos dentro de una zona, se pueden amplificar o atenuar los sacudimientos. Este tipo de información es la que se obtiene de la *microzonificación sísmica* y es de gran interés para completar la información en vía de neutralizar riesgos. Para quien decide una localización o diseña una estructura es muy importante conocer, además de zonas de igual intensidad probable (isosistas), los lugares en que se pueden esperar mayores o menores sacudimientos, sobre todo si las diferencias probables son grandes.

En cualquier caso, la información sintética definida como *riesgo sísmico* está referida claramente a consideraciones de estabilidad o daño físico probable de las estructuras ante excitaciones dadas. Por lo mismo va más allá de lo que puede ser estrictamente necesario para la preparación de decisiones económicas o para la anticipación de los efectos probables. Los mapas de zonificación y los estudios de microzonificación son de utilidad relativa para el economista, pues se refieren a la probabilidad de colapso y no toman en cuenta la incidencia que puede tener un sismo, aún sin producir el colapso de una estructura, sobre la actividad, ni los costos de reparación que puede ocasionar.

La utilidad de una evaluación de riesgo, como la que venimos resumiendo es sobre todo para definir localización y tipo de estructuras y por tanto para resolver un aspecto de las decisiones económicas. Sin embargo, es importante intentar otra síntesis de la información. Esta vez más estrictamente en función de necesidades de análisis económico, sobre todo las de resolver interrogantes sobre rentabilidad y oportunidad (en el tiempo) de concretar y de reemplazar el equipo productivo, entre otras decisiones.

Para este fin, pensamos que la información sísmológica fundamental está contenida en los registros históricos de ocurrencia y medición de parámetros sísmicos y en la hipótesis generalmente aceptada de que, en promedio, se puede esperar que en el futuro ocurra un número de sismos de magnitud que, en promedio, se puede esperar que en el futuro ocurra un número de sismos de magnitud dada, igual que en el pasado. Consecuentemente, son las relaciones de recurrencia las que permiten estimar la sismicidad de una zona y los períodos de retorno medio de los sismos. Sobre la base de estas estimaciones se trataría de establecer una distribución discreta de probabilidades de ocurrencia de sismos de diferentes magnitudes o intensidades en un período de análisis que, en este caso, debe estar, además, referido a la realización de un plan o a la vida útil esperada de las estructuras.

En lo que sigue, adoptaremos un método de evaluación de riesgo que se apoya en la experiencia conocida, propuesta y utilizada por sismólogos e ingenieros, y resumida en los párrafos precedentes. Por lo mismo es similar en las etapas que juzgamos relevantes para nuestro interés e incluye adicional o alternativamente, criterios propios para asegurar la utilidad de los resultados.

### 3.2. *Estimación de Riesgos para Decisiones Económicas*

Es así que al definir las zonas de interés, no son estrictamente las fuentes sísmogénicas que vamos a tomar en cuenta, sino los establecimientos humanos y sus regiones inmediatas que, en el pasado, han sido afectados por movimientos sísmicos. Más que los focos o puntos de origen de los sismos nos interesan las áreas habitadas como puntos de llegada de las ondas sísmicas, teniendo en cuenta además, que los sacudimientos pueden resultar de ondas provenientes de focos diferentemente ubicados con respecto a la zona afectada. Una información que tomamos en cuenta, además de la referente a magnitudes e intensidades, en localidades de interés, son los mapas de epicentros y los de isosistas que se han construido para el caso de algunos eventos importantes.

En concreto, hemos seleccionado como zonas de interés, las de Lima Metropolitana, la región de Piura-Tumbes y la de Chimbote-Huarmey en la costa, región en la que se registran *sismos superficiales*, es decir con una profundidad de foco (hipocentro) de 0 a 70 kms. Estos sismos son los que presentan una mayor amenaza potencial de destrucción. Igualmente hemos retenido las zonas de Arequipa y del Callejón de Huaylas, en la región andina, en la que se registran *sismos de profundidad intermedia* (de 70 a 110 kms. de profundidad hipocentral). La inclusión del Callejón de Huaylas, a pesar de te-

ner una historia sísmica menos intensa, se debe al grado de destrucción registrado en 1970 en razón de la violencia del sacudimiento y de los efectos secundarios (alud). a pesar de que el hipocentro estuvo en el mar.

En cuanto al período de observación, hemos considerado el lapso 1950-1975, serie que a juzgar por la literatura de las geociencias es muy corta, pero que permite recoger lo más fiable de la "sismicidad instrumental", es decir aquella cuyos parámetros han podido ser observados, registrados y evaluados mediante instrumentos especiales y por personal competente. Descontamos pues etapas en las que se sabe hay menor precisión o cobertura y toda la "sismicidad histórica" es decir aquella de la cual se tiene noticia y juicios apreciativos, pero no medición de parámetros sísmicos. Para esta evaluación y para las estimaciones que se derivan hemos utilizado los trabajos históricos de E. Silgado<sup>15</sup> y sobre todo los Catálogos Sísmicos elaborados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), la Universidad Nacional de Ingeniería y el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS)<sup>16</sup>.

Cuando se hacen las estimaciones en base a magnitudes se tropieza con el problema de que en los catálogos sísmicos, algunos registros corresponden a las magnitudes en términos de *ondas de cuerpo* (Mb) y otros en términos de *ondas superficiales* (Ms) de manera que es necesario homogeneizar la información en base a una correspondencia entre ambos tipos de onda. Esto se hace habitualmente a través de relaciones empíricas; válidas para cada región, de manera que emplearemos la que fue calculada por D. Huaco para la costa norte del país en 1979<sup>17</sup>. Esta relación establece que el valor de Mb se puede aproximar como

15. E. Silgado, *Historia de los Sismos más Notables Ocurridos en el Perú (1513-1970)*. Lima, Centro Regional de Sismología para América del Sur, CERESIS, 1973.
16. I.G.P., Proyecto SISAN, *Catálogo Sísmico de Hipocentros del Perú y Areas vecinas. 1471-1982*. Lima, Junio 1983. Universidad Nacional de Ingeniería, *Catálogo de Intensidades 1912-1980*, Lima, 1982. Idem. *Catálogo Sísmico del Perú: Parámetros Focales 1543-1980*, Lima, 1982. Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) Proyecto Sisan, *Catálogo de Intensidades Macrosísmicos del Perú, 1471-1981*. Lima, 1984.
17. D. Huaco, *Peligro en la Región de Piura*, informe presentado a las autoridades del Proyecto Chira-Piura, Lima, I.G.P., 1979; citado por V. Guzmán L., *El Riesgo Sísmico en los Proyectos de Ingeniería Civil*, Tesis de Ingeniería Civil, Lima, U.N.I., 1983. Sobre el particular ver también C.F. Richter, op. cit., pp. 347-350.

$$M_b = 3.3 + 0.42 M_s$$

aunque existen otras aproximaciones, e incluso en algunos trabajos, se utiliza la relación propuesta por Richter en base a evidencia californiana ( $M_b = 2.5 + 0.63 M_s$ ). Una síntesis de los datos, referidos íntegramente a ondas de cuerpo y reagrupados por rangos de magnitud, se presenta en el Cuadro No. 1.

En base a esta información se han estimado las relaciones de recurrencia (frecuencia-magnitud) para las cinco zonas y considerando la variación de magnitudes por décimas, desde 4.0 hasta 7.0 que es la más alta magnitud registrada<sup>18</sup>. En los cálculos se han utilizado las dos variantes del modelo, es decir aquella que no hace referencia explícita a una magnitud mínima y la que lo hace. En el primer caso, de hecho se sobreentiende que la magnitud de referencia es  $M_0 = 0$ , de manera que si se registran las observaciones a partir de un límite diferente ( $M_0 > 0$ ), en realidad se excluyen del espacio de observaciones las frecuencias que registran magnitudes menores a la que se adopta como umbral. En nuestro caso hemos tomado  $M_0 = 4$  y hemos estimado también el modelo con límite explícito.

### CUADRO No. 1

#### MOVIMIENTOS SISMICOS REGISTRADOS EN LAS REGIONES INDICADAS (1950-1975) POR RANGOS DE MAGNITUD A PARTIR DE $M_b = 3$

| Magnitud ( $M_b$ ) | Lima | Chimbote-Huarmey | Piura-Tumbes | Arequipa | Callejón de<br>Huaylas |
|--------------------|------|------------------|--------------|----------|------------------------|
| 4.0 - 4.4          | 45   | 6                | 4            | 34       | -                      |
| 4.5 - 4.9          | 29   | 4                | 9            | 22       | 1                      |
| 5.0 - 5.4          | 21   | 5                | 8            | 25       | 1                      |
| 5.5 - 5.9          | 16   | 4                | 7            | 18       | 1                      |
| 6.0 - 6.4          | 2    | 3                | 4            | 11       | 1                      |
| 6.5 - 6.9          | 2    | 2                | -            | -        | 1                      |
| 7.0 - 7.4          | -    | -                | -            | 1        | -                      |
| TOTAL              | 115  | 24               | 32           | 111      | 5                      |

FUENTE: CERESIS, *Catálogo de Intensidades Macrosísmicos del Perú, 1471-1981*.  
Lima, 1984. Conversión a  $M_s$  calculada según se indica en el texto.

18. No se han tenido en cuenta magnitudes menores, como es habitual en este tipo de estimaciones, porque no son registradas, sino por Observatorios muy cercanos a los hipocentros (no son "telesísmicas") y por tanto hay muchas omisiones en los registros. El umbral podría ser menor si la densidad de estaciones sísmicas fuera mayor. Esta exclusión nos fue sugerida por A. Giesecke.

Dada la estructura del modelo, esa variante implica un cambio en el término independiente (parámetro de sismicidad) pero mantiene la pendiente y los indicadores de regresión y correlación. Por eso, presentamos conjuntamente los resultados en el Cuadro No. 2.

CUADRO No. 2

## ESTIMACION DE LAS RELACIONES DE RECURRENCIA POR ZONAS

$$\text{Log } N = a - b Mb$$

$$\text{Log } N_0 = \alpha - \beta (Mb - M_0); M_0 = 4$$

|                     | $\hat{a}$         | $\hat{\alpha}$    | $\hat{a} = \hat{\beta}$ | $R^2$  | F       | T  |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|--------|---------|----|
| Lima                | 5.036<br>(29.032) | 2.219<br>(49.091) | 0.704<br>(21.199)       | 0.9553 | 449.418 | 22 |
| Chimbote-Huarmey    | 3.541<br>(13.987) | 1.719<br>(25.043) | 0.483<br>(10.550)       | 0.8946 | 111.303 | 14 |
| Piura-Tumbes        | 3.888<br>(15.291) | 1.608<br>(21.083) | 0.542<br>(11.237)       | 0.8683 | 126.270 | 20 |
| Arequipa            | 4.642<br>(23.098) | 2.246<br>(40.813) | 0.599<br>(15.741)       | 0.9114 | 247.787 | 25 |
| Callejón de Huaylas | 2.271<br>(6.905)  | 0.946<br>(9.269)  | 0.331<br>(5.687)        | 0.8868 | 32.337  | 5  |

N.B. Las cifras entre paréntesis son las estadísticas t.

T es el número de pares de observaciones.

Los niveles de ajuste que se obtienen en todos los casos son satisfactorios, pues las varianzas están explicadas por la regresión en más de 86o/o, según lo muestran los Coeficientes de Determinación (ajustados por grados de libertad) e igualmente, la significación de los parámetros individualmente y en conjunto, es probable al 99o/o. Ahora bien, si los resultados son estadísticamente satisfactorios, podemos concluir en que, de acuerdo a la significación hipotética de los parámetros, los estimadores  $\hat{a}$  indican que las regiones de Lima y Arequipa (región metropolitana) son las de más alta *sismicidad* o de más alta y continua actividad sísmica; y, de acuerdo con nuestro criterio de definición de zonas o fuentes, las que *deben soportar* una mayor incidencia de movimientos sísmicos. Luego siguen en orden de importancia, las regiones de Piura-Tumbes y de Chimbote-Huarmey (en ese orden). Esto corresponde a las conclusiones de otros estudios, en el sentido de que es la zona de la Costa del Pacífico la que registra una mayor intensidad y continui-

dad de actividad sísmica. En tercer lugar, y con un indicador significativamente menor, aparece la zona del Callejón de Huaylas, incluida en la muestra en razón de los efectos desastrosos del sismo de 1970, como hemos mencionado antes, pero que corresponde justamente a una zona que se puede reputar como de menor actividad sísmica y en la que, además, los sismos son originados a profundidades superiores a 70 kms, como ya hemos mencionado igualmente.

Estos resultados, a más de proporcionar información algo más precisa sobre el riesgo latente en diversas regiones, nos reafirma en la conveniencia de utilizar un criterio de identificación de "fuentes" diferente del que rigurosamente se desprende de consideraciones geofísicas. En efecto, la zona del Callejón de Huaylas fue afectada en grado importante, no en razón de la sismicidad en *su propia* región, sino por la magnitud y la forma de transmisión de ondas sísmicas originadas en otra zona.

Estos resultados se reproducen en el caso de realizar la estimación de los parámetros con referencia a una magnitud mínima, salvo en el hecho que esta vez, la región de Arequipa aparece como más intensamente sísmica que la de Lima. Esto indicaría en realidad, que aunque en Lima se perciben los efectos de un mayor número o una mayor frecuencia de movimientos sísmicos, si se eliminan los de magnitudes menores ( $M \leq 3$ ) es en la región de Arequipa que se registra la mayor frecuencia de eventos, es decir la mayor frecuencia de eventos importantes o con efectos eventualmente destructivos o perturbadores.

Tal como ya hemos anotado, el valor de este parámetro es sensible al número de eventos, y por lo mismo al período de observación (26 años) y al tamaño de las áreas consideradas, que no son estrictamente equivalentes en nuestra estimación, y que por lo mismo no pueden ser rigurosamente comparadas con estimaciones que adoptan una definición de fuentes *sismogénicas*. Nuestros resultados, sin embargo, corresponden a los órdenes de magnitud esperados y tienen valor para los efectos que nos proponemos. Las mismas observaciones se desprenden a propósito del valor de los estimadores  $\hat{a}^*$  y  $\hat{z}^*$ , que se deducen del cálculo de la derivada.

En lo que se refiere a la pendiente de la transformación lineal, el parámetro que es igual en las dos variantes del modelo como ya hemos mencionado, expresa las condiciones locales del suelo y el proceso de generación de los movimientos, y en nuestras estimaciones  $\hat{b}_1 = \hat{b}_2$  refleja una mayor incidencia de la sismicidad en la región de Lima; en segundo lugar, dentro de un orden de magnitud comparable, las de Arequipa, Chimbote-Huarmey y Piura-Tumbes. Nuevamente el coeficiente que refleja la sismicidad en el Callejón de Huaylas es netamente más bajo. Esto quiere decir, que los eventuales mayores

riesgos en esta zona hay que explicarlos por otras razones o por la conjunción de la ocurrencia de sismos con otras fuentes de riesgo propias, como la existencia de glaciares muy elevados e inestables en la zona, por ejemplo.

Los parámetros obtenidos nos permiten calcular, en forma de predictores ( $N$ ) la *frecuencia esperada* de movimientos de una magnitud dada o superior y el *período de retorno* o número de años en que se puede esperar se repita un movimiento de magnitud igual o superior a una dada como referencia.

En los Cuadros Nos. 3 y 4 presentamos las estimaciones que se desprenden y las proyecciones que son permisibles, dentro del modelo y los parámetros estimados, aún para magnitudes no observadas. El conjunto de estimaciones y proyecciones nos permite tener una idea sintética de la frecuencia y la magnitud de movimientos sísmicos; hasta aquí sólo con información y parcialmente (considerar el criterio de identificación de "fuentes") con preocupación geofísica. Esta información, incluso "al estado puro geofísico" es básica y fundamental. No se puede ir más adelante sin información que provenga de quienes estudian el fenómeno en sí mismo, y en este caso, sismólogos y geofísicos.

## CUADRO No. 3

ESTIMACION DEL NUMERO DE SISMOS DE DIFERENTE  
MAGNITUD--PROMEDIO EN UN AÑO

$$\hat{N}_n = \frac{1}{26} \text{ antilog } (\hat{a} - \hat{b}Mb)$$

## NUMERO DE SISMOS PROMEDIO EN UN AÑO

|          | Zonas | Lima  | Chimbote-Huarmey | Piura-Tumbes | Arequipa | Callejón de<br>Huaylas |
|----------|-------|-------|------------------|--------------|----------|------------------------|
| Magnitud |       |       |                  |              |          |                        |
| 3.0      |       | 32.21 | 4.15             | 7.03         | 26.92    | 0.73                   |
| 3.5      |       | 14.32 | 2.73             | 3.77         | 13.51    | 0.50                   |
| 4.0      |       | 6.38  | 1.56             | 2.02         | 6.78     | 0.34                   |
| 4.5      |       | 2.84  | 0.90             | 1.08         | 3.40     | 0.23                   |
| 5.0      |       | 1.26  | 0.51             | 0.58         | 1.71     | 0.16                   |
| 5.5      |       | 0.56  | 0.30             | 0.31         | 0.86     | 0.11                   |
| 6.0      |       | 0.25  | 0.17             | 0.17         | 0.43     | 0.07                   |
| 6.5      |       | 0.11  | 0.10             | 0.09         | 0.22     | 0.05                   |
| 7.0      |       | 0.05  | 0.06             | 0.05         | 0.11     | 0.03                   |
| 7.5      |       | 0.02  | 0.03             | 0.03         | 0.05     | 0.02                   |
| 8.0      |       | 0.01  | 0.02             | 0.01         | 0.03     | 0.02                   |

## CUADRO No. 4

ESTIMACION DE LOS PERIODOS DE RETORNO DE SISMOS  
POR MAGNITUD Y ZONAS GEOGRAFICAS

## PERIODO DE RETORNO (AÑOS)

| Magnitud | Callejón de |        |                  |              |          |         |
|----------|-------------|--------|------------------|--------------|----------|---------|
|          | Zonas       | Lima   | Chimbote-Huarmey | Piura-Tumbes | Arequipa | Huaylas |
| 3.0      |             | 0.03   | 0.21             | 0.14         | 0.04     | 1.37    |
| 3.5      |             | 0.07   | 0.37             | 0.27         | 0.07     | 2.01    |
| 4.0      |             | 0.16   | 0.64             | 0.50         | 0.15     | 2.94    |
| 4.5      |             | 0.35   | 1.12             | 0.92         | 0.29     | 4.30    |
| 5.0      |             | 0.79   | 1.96             | 1.73         | 0.59     | 6.29    |
| 5.5      |             | 1.78   | 3.33             | 3.22         | 1.17     | 9.21    |
| 6.0      |             | 4.01   | 5.88             | 6.01         | 2.33     | 13.50   |
| 6.5      |             | 9.02   | 10.00            | 11.22        | 4.64     | 19.75   |
| 7.0      |             | 20.28  | 16.66            | 20.94        | 9.25     | 28.91   |
| 7.5      |             | 45.60  | 33.33            | 39.08        | 18.43    | 42.31   |
| 8.0      |             | 102.56 | 50.00            | 72.94        | 36.73    | 61.94   |

Por lo mismo, la información que acabamos de presentar y discutir, nos entrega lo que pensamos, es un puente entre la información rigurosa y típicamente generada por ingenieros y geofísicos, y la que necesitamos. No es todo lo rigurosa que las hipótesis lo exigen, pero nos permite —a los economistas— manejar una información útil para orientar decisiones.

En este sentido debemos relativizar el uso de la variable *magnitud* que es una medida científica referida a la cantidad de energía liberada, pero que no da cuenta de eventuales daños o efectos económicos, y rescatar la menos manejable en términos estrictamente científicos de *intensidad*. “La intensidad es una medida de los efectos macrosísmicos sobre objetos naturales, estructuras artificiales y observadores en una localidad dada”<sup>19</sup>, y por lo mismo, las escalas para medirla no pueden ser precisas e inequívocas. En efecto, esta última incorpora juicios apreciativos y de valor, pero también criterios (globales) de daño o de incidencia en aspectos económicos. Por lo demás, los criterios, y por lo mismo las escalas de intensidad<sup>20</sup>, están referidos a las zonas de llegada de las ondas sísmicas y por tanto a las posibles “zonas afectadas”.

Consecuentemente, nos ha parecido útil, hacer estimaciones de un modelo similar al utilizado anteriormente, pero con la intensidad (variable ordinal) como variable explicativa, aún con los riesgos de imprecisión que esto im-

19/ A. Giesecke, art. cit., pág. 97.

plica. El argumento estadístico a favor está en que existe correlación positiva muy estrecha entre magnitud e intensidad; y puede operar como variable instrumental; el argumento decisional, en el hecho de que es en base a efectos esperados o producidos que se deben tomar decisiones o desprender las implicaciones económicas. La información sobre ocurrencia de sismos por intensidades (homogeneizada en escala de Mercalli Modificada), aparece en el Cuadro No. 5.

CUADRO No. 5

MOVIMIENTOS SISMICOS REGISTRADOS EN LAS REGIONES  
INDICADAS, POR INTENSIDADES (MM)

| Intensidades (MM) | Lima | Chimbote-Huarmey | Piura-Tumbes | Arequipa | Callejón de Huaylas |
|-------------------|------|------------------|--------------|----------|---------------------|
| III               | 49   | 6                | 9            | 52       | 2                   |
| IV                | 25   | 12               | 13           | 46       | 3                   |
| V                 | 9    | 6                | 2            | 16       | 2                   |
| VI                | 4    | 2                | 3            | 2        | 2                   |
| VII               | 2    | -                | 1            | 1        | -                   |
| VIII              | 1    | 1                | -            | 2        | 1                   |
| TOTAL             | 90   | 27               | 28           | 119      | 10                  |

FUENTE: CERESIS, *Catálogo de Intensidades Macrosísmicas del Perú, 1471-1981*. Lima, 1984

Las estimaciones frecuencia-intensidad que presentamos en el Cuadro No. 6 son igualmente satisfactorias desde el punto de vista estadístico e incluso con mayores niveles de ajuste. Los valores de los coeficientes a y  $\alpha$  reproducen el ordenamiento que se obtuvo con el modelo explicado por magnitudes. Esto es, que la zona de Arequipa y las de la Costa son de mayor actividad sísmica y por lo mismo de riesgo potencial, y que la zona del Callejón de Huaylas lo es bastante menos. Los estimadores del coeficiente b muestran prácticamente el mismo orden, y son menores que los valores correspondientes al primer modelo.

20/ Las Escalas de Intensidades usuales son las de Mercalli Modificada (MM), elaborada y mejorada por el propio Mercalli y luego por Richter en 1956; y la denominada MSK (Medvedev, Sponhever, Karnik) producida en 1964. Ambas tienen un rango de I a XII y van desde un temblor sólo detectado por sismógrafos, hasta uno catastrófico. Para una descripción de la Escala de Intensidades y la relación entre grados, ver A. Giesecke, art. cit., pág. 89-101.

Los resultados en general son bastante similares a los que se obtuvieron sobre la base de relaciones de frecuencias con magnitudes. Consecuentemente parece razonable asumir como valederas las implicaciones que habitualmente se hacen, cuando la variable explicativa es la intensidad.

CUADRO No. 6

ESTIMACION DE LAS RELACIONES DE RECURRENCIA  
(INTENSIDAD) POR ZONAS

$$\text{Log. } N = a - b I (\text{MM})$$

$$\text{Log. } N_o = \infty - \beta [ I(\text{MM}) - I_o ]; I_o = III (\text{MM})$$

|                     | $\hat{a}$         | $\hat{a}$         | $\hat{b} = \beta$ | $R^2$  | F        | T |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|----------|---|
| Lima                | 3.143<br>(60.246) | 1.982<br>(72.289) | 0.388<br>(42.700) | 0.9978 | 1823.283 | 6 |
| Chimbote-Huarmey    | 2.520<br>(11.953) | 1.526<br>(13.767) | 0.331<br>(9.052)  | 0.9535 | 81.945   | 6 |
| Piura-Tumbes        | 2.452<br>(12.594) | 1.488<br>(14.536) | 0.321<br>(9.507)  | 0.9576 | 90.379   | 6 |
| Arequipa            | 3.245<br>(15.405) | 2.084<br>(18.820) | 0.387<br>(10.579) | 0.9655 | 111.909  | 6 |
| Callejón de Huaylas | 1.759<br>(11.110) | 1.080<br>(12.968) | 0.227<br>(8.240)  | 0.9444 | 67.897   | 6 |

N.B. Las cifras entre paréntesis son las estadísticas t.  
T es el número de pares de observaciones.

Hemos calculado pues las frecuencias esperadas por año y los períodos de retorno para las diferentes intensidades y regiones (ver Cuadros No. 7 y 8) y, como era de esperar, los resultados son cercanos y en todo caso consistentes con los anteriores.

CUADRO No. 7

ESTIMACION DEL NUMERO DE SISMOS DE DIFERENTE INTENSIDAD- PROMEDIO EN UN AÑO

$$\hat{N}_i = \frac{1}{26} \text{ antilog } [ \hat{a} - \hat{b}I \text{ (MM) } ]$$

NUMERO DE SISMOS ESPERADO (PROMEDIO) EN UN AÑO

| Zonas      | Lima | Chimbote-Huarmey | Piura-Tumbes | Arequipa | Callejón de Huaylas |
|------------|------|------------------|--------------|----------|---------------------|
| Intensidad |      |                  |              |          |                     |
| II         | 8.95 | 2.77             | 2.48         | 11.38    | 0.77                |
| III        | 3.66 | 1.29             | 1.19         | 4.67     | 0.46                |
| IV         | 1.50 | 0.60             | 0.57         | 1.91     | 0.27                |
| V          | 0.61 | 0.28             | 0.27         | 0.79     | 0.16                |
| VI         | 0.25 | 0.13             | 0.13         | 0.32     | 0.10                |
| VII        | 0.10 | 0.06             | 0.06         | 0.13     | 0.06                |
| VIII       | 0.04 | 0.03             | 0.03         | 0.05     | 0.03                |
| IX         | 0.02 | 0.01             | 0.01         | 0.02     | 0.02                |
| X          | 0.01 | 0.01             | 0.01         | 0.01     | 0.01                |

CUADRO No. 8

ESTIMACION DE LOS PERIODOS DE RETORNO DE SISMOS POR INTENSIDAD Y ZONAS GEOGRAFICAS

PERIODO DE RETORNO

| Zonas      | Lima   | Chimbote-Huarmey | Piura-Tumbes | Arequipa | Callejón de Huaylas |
|------------|--------|------------------|--------------|----------|---------------------|
| Intensidad |        |                  |              |          |                     |
| II         | 0.11   | 0.36             | 0.40         | 0.09     | 1.29                |
| III        | 0.27   | 0.77             | 0.84         | 0.21     | 2.17                |
| IV         | 0.67   | 1.66             | 1.77         | 0.52     | 3.66                |
| V          | 1.63   | 3.55             | 3.70         | 1.27     | 6.18                |
| VI         | 3.98   | 7.60             | 7.74         | 3.10     | 10.42               |
| VII        | 9.73   | 16.29            | 16.22        | 7.57     | 17.58               |
| VIII       | 23.77  | 34.91            | 33.96        | 18.45    | 29.66               |
| IX         | 58.07  | 74.81            | 71.12        | 44.98    | 50.00               |
| X          | 141.90 | 160.32           | 148.93       | 109.64   | 84.33               |

Con esta información como base, podemos aún avanzar algo más. En efecto, lo que en realidad nos interesaría en función de la preparación de decisiones o de la evaluación económica, es conocer la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico de intensidad dada o superior y aún poder definirla en un momento dado. Para ello son útiles las estimaciones precedentes.

Por una parte, la ocurrencia de eventos sísmicos, tal como ya se ha mencionado, puede ser correctamente representada por una distribución de probabilidades de Poisson, es decir, como en la expresión

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!}$$

Para la evaluación numérica tenemos que el parámetro  $\lambda$ , razón de ocurrencia, es en nuestro caso la frecuencia promedio anual, de manera que es posible el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de sismos de diversas magnitudes en un período dado, en concreto, en un año. En el Cuadro No. 9 presentamos los valores obtenidos para la ocurrencia de *un evento* por intensidades y por zonas.

CUADRO No. 9

ESTIMACION DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UN EVENTO SISMICO DE INTENSIDAD DADA EN UN AÑO, POR ZONAS

| Intensidad | Zonas. Lima | Chimbote-Huarmey | Piura-Tumbes | Arequipa | Callejón de Huaylas |
|------------|-------------|------------------|--------------|----------|---------------------|
| II         | 0.0012      | 0.1736           | 0.2077       | 0.0001   | 0.3565              |
| III        | 0.0942      | 0.3551           | 0.3620       | 0.0438   | 0.2904              |
| IV         | 0.3347      | 0.3293           | 0.3223       | 0.2828   | 0.2061              |
| V          | 0.3314      | 0.2116           | 0.2061       | 0.3585   | 0.1363              |
| VI         | 0.1947      | 0.1142           | 0.1142       | 0.2324   | 0.0905              |
| VII        | 0.0905      | 0.0565           | 0.0565       | 0.1142   | 0.0565              |
| VIII       | 0.0384      | 0.0291           | 0.0291       | 0.0476   | 0.0291              |
| IX         | 0.0196      | 0.0099           | 0.0099       | 0.0196   | 0.0196              |
| X          | 0.0099      | 0.0099           | 0.0099       | 0.0099   | 0.0099              |

Por otra parte es conveniente tener en cuenta el fenómeno de recurrencia y por lo mismo el incremento de la probabilidad de ocurrencia en el lapso entre dos eventos de igual intensidad. Si los períodos de recurrencia estuvieran determinados, al término de ellos se tendría la certidumbre de ocurrencia

de un evento. Igualmente, en períodos inmediatos o cercanos a un sismo (importante) es poco probable que ocurra otro similar.

Una aproximación numérica se puede obtener igualmente con la ley de Poisson, pero esta vez considerando el caso de la ocurrencia de un evento en diferentes períodos. Se trata pues en realidad de un punto  $P_1(t)$  de diferentes distribuciones. Igualmente, es posible calcular para cada zona, la distribución de probabilidad de ocurrencia de "n" sismos de diferentes intensidades en un período dado, con lo cual se completa una visión del tipo de riesgo en cada zona. Las estimaciones se presentan en los Cuadros 10.1 a 10.5.

El interés de estas estimaciones es el de considerar los riesgos durante un período de análisis, como puede ser la vida útil de las estructuras y equipos productivos. Por lo mismo, es útil para decidir la concepción y localización de inversiones y el tipo de previsiones antisísmicas adecuadas.

Finalmente, la información que brinda el cálculo de los períodos de retorno, puede ser útil para decidir la ejecución de proyectos, además de evaluar el incremento de riesgo por el transcurso del tiempo.

Con el conjunto de indicadores de probabilidad por zona, los cuales habría que ponderar en razón del transcurso de los períodos de retorno, se obtiene en definitiva el vector de condicionantes de las consecuencias. Solamente que en nuestro caso, no será estrictamente un vector de probabilidades, ya que sus elementos no tienen que ser mutuamente excluyentes ni colectivamente exhaustivos, como no lo es la ocurrencia de movimientos sísmicos en un período suficientemente amplio.

La consideración última, es decir la que sugiere una ponderación resultante de juicios de situación con respecto al período de recurrencia y en general a la incorporación de información nueva nos ubica en una óptica bayesiana, y por lo mismo cambiante, de la evaluación de probabilidades. En efecto, a más del argumento ya presentado de que luego de transcurrido un lapso después de un evento, la probabilidad de otro aumenta, debemos añadir que los fenómenos de ocurrencia de eventos de diferentes intensidades (magnitudes) en cadena, como consecuencia del mismo fenómeno geológico original, determinan la ocurrencia de movimientos premonitorios y de réplicas. Evidentemente, la ocurrencia de los primeros constituye información externa que modifica la evaluación de probabilidad.

Sin embargo, no emprenderemos ahora este tipo de análisis, por el hecho de requerir mayor información básica, y por no ser directamente relevante para el tipo de análisis que deseamos realizar.

CUADRO No. 10.1  
 ESTIMACION DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA  
 DE "n" SISMOS EN UN AÑO - ZONA DE LIMA

| Número de sismos | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     |  |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| Intensidad       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| II               | 0.0001 | 0.0012 | 0.0052 | 0.0155 | 0.0347 | 0.0621 | 0.0926 | 0.1184 | 0.1325 | 0.1317 | 0.1179 | 0.0959 | 0.0715 | 0.0493 | 0.0315 | 0.0188 | 0.0115 | 0.0055 | 0.0027 | 0.0013 | 0.0001 |  |
| III              | 0.0257 | 0.0942 | 0.1724 | 0.2103 | 0.1924 | 0.1408 | 0.0859 | 0.0449 | 0.0205 | 0.0084 | 0.0031 | 0.0010 | 0.0003 | 0.0001 |        |        |        |        |        |        |        |  |
| IV               | 0.2231 | 0.3347 | 0.2510 | 0.1255 | 0.0471 | 0.0141 | 0.0035 | 0.0008 | 0.0001 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| V                | 0.5434 | 0.3314 | 0.1011 | 0.0206 | 0.0031 | 0.0004 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| VI               | 0.7788 | 0.1947 | 0.0243 | 0.0020 | 0.0001 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| VII              | 0.9048 | 0.0905 | 0.0045 | 0.0002 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| VIII             | 0.9608 | 0.0384 | 0.0008 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| IX               | 0.9802 | 0.0196 | 0.0002 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| X                | 0.9900 | 0.0099 | 0.0001 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |

CUADRO No. 10.2

ESTIMACION EN LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE "n" SISMOS EN UN AÑO  
ZONA DE CHIMBOTE-HUARMEY

| Número de Sismos | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Intensidad       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| II               | 0.0627 | 0.1736 | 0.2404 | 0.2220 | 0.1537 | 0.0852 | 0.0393 | 0.0156 | 0.0054 | 0.0017 | 0.0004 |
| III              | 0.2753 | 0.3551 | 0.2290 | 0.0985 | 0.0318 | 0.0082 | 0.0018 | 0.0003 |        |        |        |
| IV               | 0.5488 | 0.3292 | 0.0988 | 0.0198 | 0.0030 | 0.0003 |        |        |        |        |        |
| V                | 0.7558 | 0.2116 | 0.0296 | 0.0028 | 0.0002 |        |        |        |        |        |        |
| VI               | 0.8781 | 0.1142 | 0.0074 | 0.0003 | 0.0001 |        |        |        |        |        |        |
| VII              | 0.9418 | 0.0565 | 0.0016 | 0.0001 |        |        |        |        |        |        |        |
| VIII             | 0.9704 | 0.0291 | 0.0004 | 0.0001 |        |        |        |        |        |        |        |
| IX               | 0.9900 | 0.0099 | 0.0001 |        |        |        |        |        |        |        |        |
| X                | 0.9900 | 0.0099 | 0.0001 |        |        |        |        |        |        |        |        |





## CUADRO No. 10.5

ESTIMACION EN LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE "n"  
SISMOS EN UN AÑO - ZONA CALLEJON DE HUAYLAS

| Número de Sismos | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Intensidad       |        |        |        |        |        |        |        |
| II               | 0.4630 | 0.3565 | 0.1373 | 0.0352 | 0.0068 | 0.0010 | 0.0001 |
| III              | 0.6313 | 0.2904 | 0.0668 | 0.0102 | 0.0012 | 0.0001 |        |
| IV               | 0.7634 | 0.2061 | 0.0278 | 0.0025 | 0.0002 |        |        |
| V                | 0.8521 | 0.1363 | 0.0109 | 0.0006 | 0.0001 |        |        |
| VI               | 0.9048 | 0.0905 | 0.0045 | 0.0002 |        |        |        |
| VII              | 0.9418 | 0.0565 | 0.0017 |        |        |        |        |
| VIII             | 0.9704 | 0.0291 | 0.0005 |        |        |        |        |
| IX               | 0.9802 | 0.0196 | 0.0002 |        |        |        |        |
| X                | 0.9900 | 0.0099 | 0.0001 |        |        |        |        |

## 4. LAS CONSECUENCIAS ECONOMICAS DE UN SISMO

Los efectos de un sismo son la destrucción de estructuras físicas (viviendas, infraestructura, instalaciones) que es necesario reponer (pérdidas). Este hecho constituye de por sí un problema económico, en tanto que hay costos y asignación o reasignación de recursos. Pero, los efectos económicos de un sismo tienen que ser evaluados, además, a partir de la existencia de una infraestructura de producción y del desenvolvimiento normal de un patrón de actividad, localizado espacialmente y condicionado por diversos factores físicos, antes de ocurrir el sismo.

Los efectos económicos son pues las consecuencias de la ocurrencia de un evento sísmico sobre las estructuras (activos) físicas, es decir, los equipos productivos y los servicios, creados o habilitados por decisiones y esfuerzos del pasado.

Por lo mismo, es útil para una sociedad conocer el monto de sus pérdidas y la gravedad y variedad de los daños sufridos, tanto para fundamentar un juicio presente de la situación, como para definir globalmente actitudes previsionales en el futuro<sup>21</sup>. Sin embargo lo definitivo, y por tanto lo fundamental para ella, a largo plazo, es el recuperar las condiciones del desenvolvimiento

21. En otro trabajo nos referimos específicamente a los problemas de utilidad y las posibilidades de estimar las pérdidas o daños económicos. Ver: Máximo Vega-Centeno. "Nota Metodológica sobre la Estimación Económica de Daños Ocasionados por un Sismo" (por publicarse).

to normal de sus actividades; y, en lo inmediato, mitigar los efectos directos de la destrucción y sus secuelas sobre diversos órdenes de la vida de las personas. Incluso se puede decir que la estimación de daños se justifica en, último término, por lo que contribuye a definir, en términos de contenido y de prioridad, los esfuerzos posteriores y a acelerar su concreción.

A raíz de un terremoto destructor, como ha ocurrido en diversas ocasiones y zonas del Perú, se comprueban pérdidas humanas y cuantiosos daños materiales, así como de paralización de actividades productivas. La magnitud del desastre, en diversas medidas, requiere de una acción de emergencia para afrontar problemas inmediatos como son la salud, alimentación y vivienda de los damnificados o sobrevivientes, así como reestablecer las comunicaciones entre la zona afectada y el resto del país y en general, reparar o rehabilitar la infraestructura. Además de la ayuda inmediata, es necesario un esfuerzo de reconstrucción de más largo plazo en el que se tenga como objetivos, no sólo la reconstrucción de las ciudades y la rehabilitación de la infraestructura productiva, sino también el corregir defectos, ya sea de ubicación de la población o de diseño urbano para impedir se repitan similares efectos a raíz de desastres de esa o equivalente magnitud, que dada su génesis, pueden ocurrir nuevamente.

Por otra parte, es necesario tener en cuenta que tanto el esfuerzo inmediato, como los de mediano y largo plazo constituyen esfuerzos que frecuentemente sobrepasan la capacidad técnica y económica local o nacional (afectadas por el propio desastre); e igualmente implican cambios diversos en la vida económica local (zona afectada) y nacional. En todo caso, se realizan en condiciones muy particulares, muchas veces atípicas, o bien en medio de perturbaciones graves.

En la presente sección, discutiremos la naturaleza de las perturbaciones económicas, así como la concepción, eficiencia y pertinencia del esfuerzo de ayuda en el periodo de emergencia. Posteriormente, lo haremos a propósito de la orientación, características y consecuencias que resultan de la política de reconstrucción o rehabilitación.

### *4.1. El Período de Emergencia y la Ayuda*

Tal como lo hacen notar Dacy y Kunreuther<sup>22</sup> cuyo enfoque para el análisis de diversos desastres naturales utilizamos como base de nuestros análisis, al producirse un sismo destructor, es indudable que se produce un caos o desorden social que afecta al comportamiento o desempeño normal de los a-

---

22. Dacy, D. y Kunreuther, H. *The Economics of Natural Disasters*. The Free Press, New York, 1969.

gentes económicos. Además, por la destrucción misma, se les plantean a éstos, problemas nuevos y urgentes y que deben de resolver en condiciones fuera de lo normal. En efecto, se dan nuevas circunstancias o la súbita carencia de medios con los que se cuenta habitualmente.

Consecuentemente, es necesario asumir el hecho de que los agentes económicos, afrontan urgencias, incertidumbre (por falta de información o por pánico) y escasez de medios de acción. Por lo mismo, los procesos de toma de decisión se violentan o alteran y escapan muchas veces a la más elemental racionalidad.

El comportamiento de los agentes (miope o precipitado), que es fácilmente explicable cuando se trata de los habitantes de la zona afectada, se altera también, aunque en diferente medida y modalidad, en el caso de habitantes (instituciones) de otras zonas. Estos, movidos por diversas motivaciones de solidaridad, multiplican acciones y decisiones de variada (dudosa) eficiencia y que pueden tanto ayudar a resolver, como a retardar la solución de problemas, como veremos más adelante (congestión de los sistemas de transporte y comunicaciones, agudización de problemas de desabastecimiento, por ejemplo).

En una zona devastada se plantean de inmediato problemas de escasez de bienes incluidos en la canasta de consumo habitual, y al mismo tiempo, aparecen necesidades urgentes y en montos elevados, por bienes de consumo poco frecuente o no generalizado en la población.

La escasez de bienes en general aparece por la paralización temporal de la actividad productiva, por la pérdida de stocks o por la interrupción (limitación) de los abastecimientos, en el caso de los productos que vienen del exterior. Se trata de problemas reales que afectan diferentemente (en intensidad y en extensión) a la población y que pueden ser agravados por la incertidumbre, respecto a la evolución de la situación en el futuro inmediato, y por insuficiencia o distorsión de la información. Por esta última razón, así como por la tendencia a generalizar, pueden incluso definirse actitudes que corresponden a escaseces inexistentes. En definitiva, el cuadro general es el de graves desajustes de los mercados en términos de cantidades ofrecidas y demandadas, con la consiguiente y violenta alteración del sistema de precios.

Si nos referimos a un bien o a un agregado significativo de bienes (alimentos o medicinas, por ejemplo), podemos observar, tal como lo hacen Dacy y Kunreuther<sup>23</sup>, que sea por paralización de la producción, o por desabastecimiento, la oferta cae, tiende a hacerse inelástica, y en el límite es completamente rígida. En este caso, (ver Fig. 3) los ajustes en términos de cantidades y precios, muestran que si la demanda permanece inalterada, las cantidades se

---

23. Dacy y Kunreuther: Op. cit., Cap. 3.

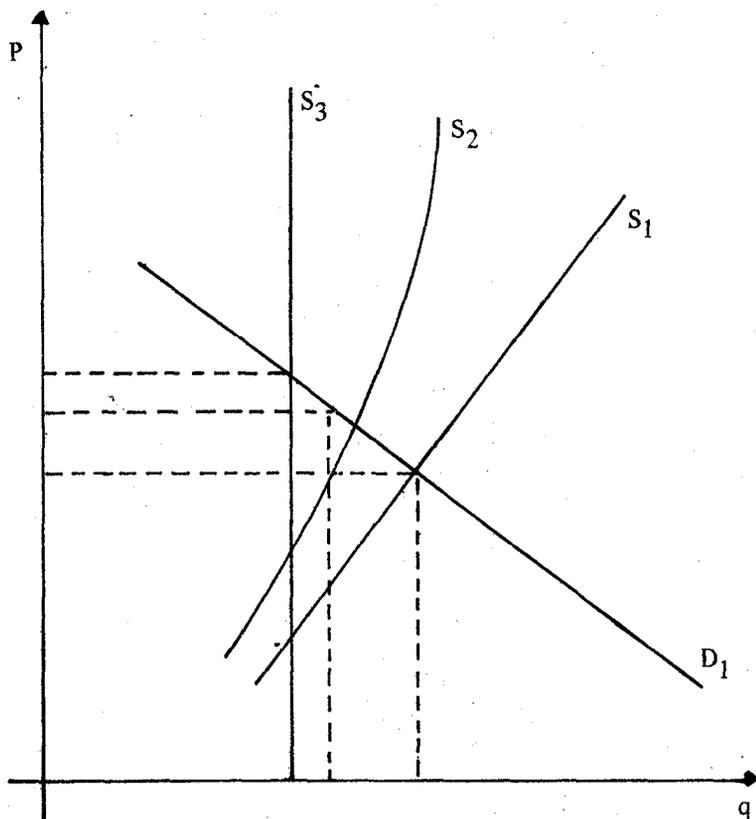


Figura No. 3.

reducen y los precios suben. Este es el caso de los bienes que no son producidos en la zona y cuando el sistema de transporte resulta afectado. En otras palabras, podría serlo en la zona andina y a propósito de bienes industriales.

Las consecuencias son algo diferentes si, además del cambio en la oferta, consideramos cambios en la demanda. En efecto, ocurre que por fenómenos de sustitución sobre todo, o complementariedad; o bien por agudización de ciertas necesidades ante la desaparición de los stocks que habitualmente guardan las familias o la urgencia de reemplazos, la demanda se desplaza hacia arriba, e incluso podemos prever, perdiendo elasticidad con respecto a los precios. Tal sería el caso de bienes semidurables que componen el stock de las

familias<sup>24</sup>, el de bienes no producidos en la zona o cuya necesidad aparece o se agudiza con el desastre. En este caso, los ajustes con respecto a la nueva curva de demanda ( $D_2$  en la Fig. 4) muestran que ocurre un incremento mayor de precios y que las cantidades se reducen con menor rapidez que en el caso anterior.

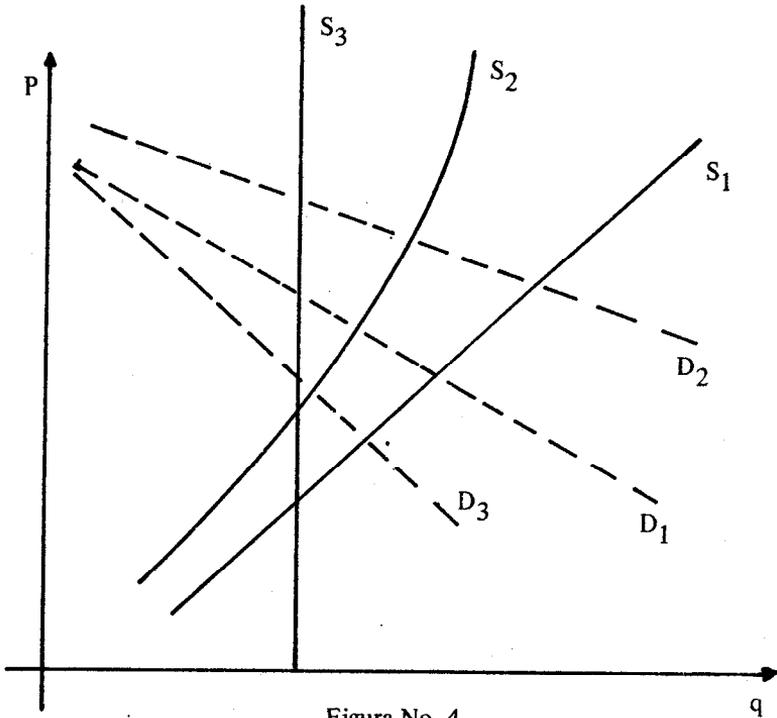


Figura No. 4

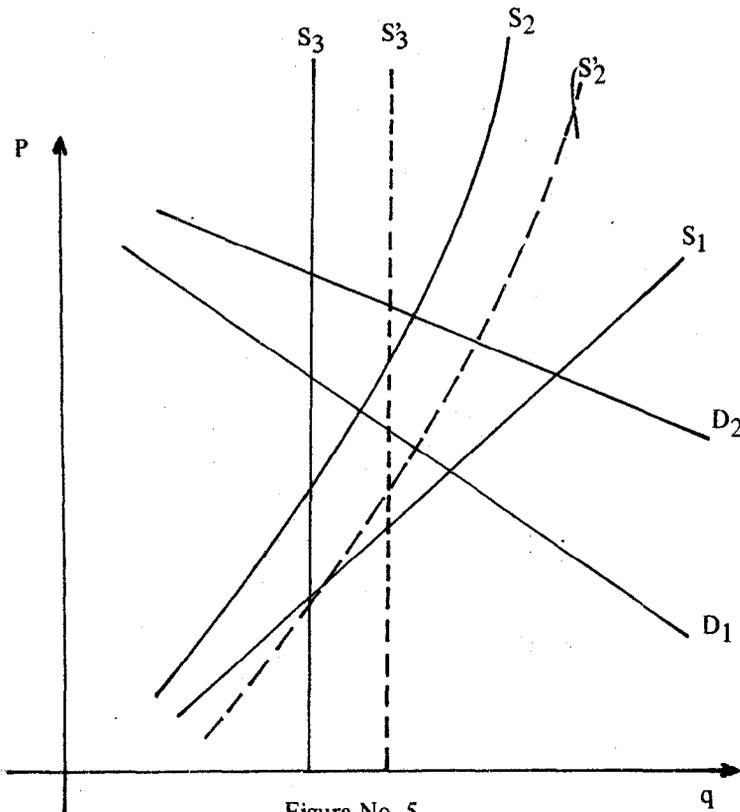
---

24. La "despensa" o provisión que mantienen las familias y que es función de su ingreso.

## ANALISIS ECONOMICO DE LOS TERREMOTOS

Puede ocurrir igualmente, que la demanda por algunos bienes caiga, como consecuencia de la caída del ingreso real, y del necesario reajuste de los gastos por categorías de bienes. En este caso la demanda se hará probablemente más elástica al precio (y al ingreso), y se tiene como resultado del proceso de ajuste una reducción de las cantidades y elevación de precios por encima de los del equilibrio pero no necesariamente mayores que los iniciales, es decir, los que se formaban con la demanda precedente. En esta categoría podemos mencionar ciertos bienes relativamente prescindibles o los que resultan desplazados por la irrupción de los contingentes de ayuda exterior.

Esta última, la ayuda exterior, se introduce a las zonas afectadas como respuesta solidaria, y altruista, aunque puede distribuirse a través del mercado. En ese caso, tendríamos un desplazamiento de las curvas de oferta (Fig. 5) hacia la derecha, compensando la reducción debida a la destrucción. En



realidad se trata de un stock suplementario que permite ofrecer mayores cantidades y el sistema encontraría su equilibrio, según permanezca o se modifique la demanda. Además, es claro que en esta situación el incremento de los precios es menor que el que origina una reducción brusca de las disponibilidades.

Por último, la ayuda exterior, muchas veces se concreta en términos de don, es decir, se distribuye gratuitamente, teniendo en cuenta sus motivaciones, así como la desaparición de patrimonio y fuentes de ingreso de los damnificados. La distribución de bienes a título gratuito tiene el efecto de desplazar la demanda hacia abajo y hacerla más sensible al precio, de manera que las cantidades demandadas caen y también los precios (ver Fig. 6). En este caso, los productores o distribuidores regulares del bien y su actividad pueden incluso resultar perjudicados, por retraso en las ventas o por tener que ajustarse a precios menores.

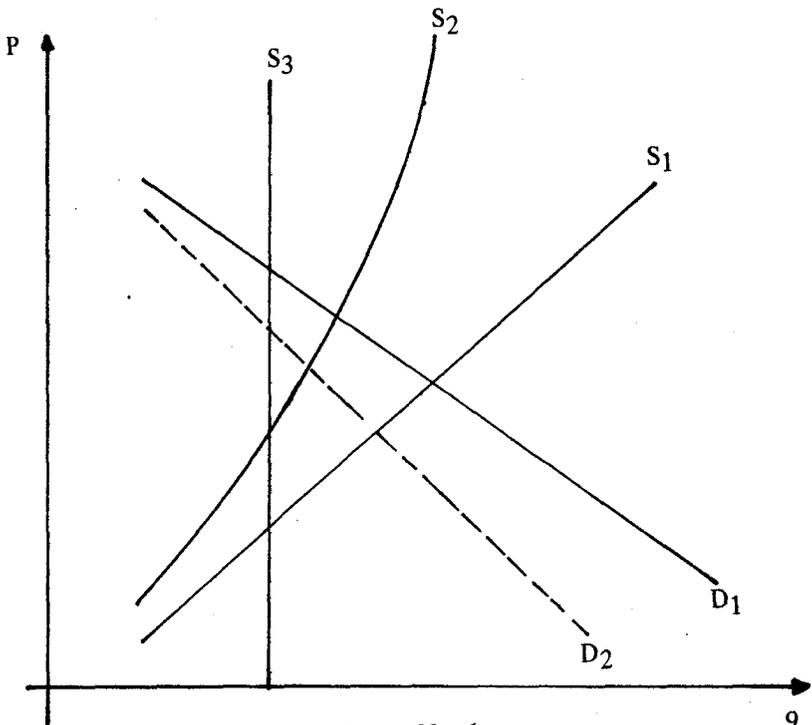


Figura No. 6

Salvo en el último caso considerado, se puede percibir que hay una mayor variedad de posibilidades de ajuste que arrojan un aumento de los precios. Ahora bien, se debe considerar que las personas y las familias demandan el conjunto de la canasta, es decir demandan simultáneamente una variedad de bienes (demandas simultáneas e interdependientes), bajo restricción de sus propios recursos (ingresos, ahorro, patrimonio) y, en el caso particular de destrucción de activos, desaparición de stocks o imposibilidad de abastecimiento, lo hacen bajo restricción de la disponibilidad (oferta) del bien en la zona. Consecuentemente, los patrones de asignación de recursos se alteran (se recomponen) en razón de necesidades perentorias, de disponibilidades diversas y del cambio en los precios debido a ajustes como los que acabamos de señalar.

En resumen, vemos que es ineludible tener en cuenta los problemas de carencias apremiantes y de escasez, pero también es importante asumir el hecho de que son temporales y que los movimientos de precios que le siguen pueden ser también de intensidad y duración variable y más bien limitada. Consecuentemente no inducen cambios estables en el comportamiento de las personas; y por lo menos a largo plazo, no lo hacen en la medida o amplitud de las reacciones inmediatas a la ocurrencia de un desastre. Se trata pues de situaciones de *perturbación momentánea* y explicable de los *flujos*, de los *stocks* y de los *procesos de toma de decisiones* en la economía local, y que, sin embargo pueden significar condicionantes o, directamente, el inicio de cambios en el comportamiento económico de la población.

La ayuda externa, como ya hemos señalado, es una respuesta del exterior a las urgencias que origina el desastre y dada la imposibilidad (o por lo menos la dificultad) de la comunidad afectada de solucionarlas por sí misma. La ayuda es necesaria, y sus motivaciones muy encomiables, pero sus efectos económicos no son seguros.

En efecto, a propósito de la ayuda y, justamente para reconocer su valor social y ético, y para hacerla eficiente, es necesario en primer lugar, admitir que las decisiones en materia de ayuda se toman en medio de informaciones incompletas y contradictorias que, por lo mismo pueden modificarse o rectificarse con rapidez. Los agentes de decisiones, tanto los que pueden y desean ofrecer ayuda como los que la necesitan, están en alguna forma afectados por la tensión y la incertidumbre propia del momento y presionados de tomar decisiones o implementar acciones en forma inmediata. En segundo lugar, que como consecuencia del desastre y de los condicionamientos derivados, así como por la desigual capacidad de las partes concernidas, se define la ayuda por consideraciones de oferta, sobre todo, y en casos extremos, en forma exclusiva. En este sentido la utilidad de la ayuda es aleatoria; es decir que su monto,

contenido y oportunidad no son necesariamente los más adecuados. Como tampoco está asegurada su correcta y oportuna distribución y su uso por los receptores.

Ahora bien, tampoco es posible esperar, en lo inmediato, una solicitud específica de la demanda, o bien dejar correr un lapso para que lo haga, porque son muchos y graves los riesgos y las urgencias. Por ello, pensamos que es imprescindible un conocimiento, lo más completo y operativo posible, de la situación previa, ya que es con respecto a ella que se debería definir el esfuerzo de ayuda inmediata. Para ello sería necesaria una *previsión de la emergencia*, que pudiera intermediar, seleccionando o discriminando el contenido y la pertinencia de la ayuda. Igualmente una organización o administración local que se concrete y opere rápida y eficientemente.

Existen otros aspectos de la ayuda en emergencia a los que podríamos referirnos. Son los de la respuesta a una *demanda derivada del desastre* por bienes de equipo, y a la presencia ambivalente de personas del exterior. Lo primero significan introducción de equipos (para remoción de escombros, por ejemplo), bienes sustitutos provisionales (baterías) y material de construcción que contribuyen a la modernización del equipo y las técnicas en las zonas deprimidas. Lo segundo significa la presencia, a veces masiva, de personal técnico y administrativo del exterior que al mismo tiempo que cumple funciones muy importantes, o invaluable, contribuye a hacer presión sobre la demanda por bienes y servicios escasos a raíz del desastre, como vivienda y comunicaciones por ejemplo.

En cualquier caso, tanto por la definición de los términos o por el contenido (consideraciones de oferta y de demanda), como por la necesidad de asegurar su eficacia, se refuerza la necesidad de intermediación y de administración<sup>25</sup>. Ahora bien, la primera es imposible por el momento o se la obvia, y la segunda es habitualmente resistida por el celo de los donantes, que desearían hacer llegar el íntegro de su esfuerzo a los damnificados. Las distorsiones observadas en diversos casos (ayuda consumida por asistentes técnicos, por familias ricas o por no damnificados); los bloqueos en la distribución (stocks que no pueden salir oportunamente de la aduana o de los almacenes de organismos públicos por cuestiones de trámite; stocks que no se pueden distribuir por haberse recibido en cantidades excesivas o por no existir canales de distribución); o finalmente la inadecuación a los patrones de consumo, abonan más bien por un esfuerzo local y permanente de preparación para administrar la ayuda y plantean a las fuentes externas como a los responsables locales, la

---

25. Desde 1972 se ha creado el Sistema de Defensa Civil que, en principio debería cumplir esas funciones.

necesidad de aceptar que la eficiencia, y aún la equidad, tienen un costo que es muy inferior a los beneficios que permite alcanzar. Es el costo de la previsión, la organización y la administración que, sin embargo, no deben ni burocratizarse ni rigidizarse.

En último término debemos señalar que la magnitud, el contenido y la modalidad de ayuda en el período de emergencia, no sólo cumplen una función y tienen efectos en el corto plazo. En realidad, en un período breve se introducen equipos y técnicas, así como bienes nuevos o poco usuales; por su parte, el movimiento de solidaridad que en una u otra forma determina movilización de recursos en forma masiva a la zona, contribuye a elevar y ensanchar las expectativas de la población (no sólo se ayuda, sino que también se ofrece o se promete). Se abren pues nuevas perspectivas, fundadas o no, y todo ello constituye un factor condicionante para el esfuerzo posterior de reconstrucción.

### *4.2. El Período de Reconstrucción y las Inversiones*

Al mismo tiempo que afrontar y si es posible superar los problemas inmediatos al efecto destructor, se plantean a una comunidad los de recuperar o crear condiciones para una actividad normal. Este requerimiento y las aspiraciones que lo acompañan, están muy referidos a la situación previa, a los sentimientos de afirmación local o regional. Por otra parte, dependen muy fuertemente del apoyo exterior (nacional o internacional) y se concretan en inversiones que inciden en el ritmo y tipo de desarrollo de la zona afectada.

El esfuerzo de reconstrucción o de rehabilitación es, en alguna forma, un intento de recuperación de las condiciones previas. Por lo menos así se expresa la voluntad de los damnificados y de los gobernantes, pero incluso en esa intención manifiesta se insinúa la de superar las condiciones y nivel previamente alcanzado. La "creación de condiciones nuevas y superiores" o la afirmación del deseo o del compromiso de "hacer resurgir la ciudad o la región más pujante que antes", son expresiones frecuentes de voceros influyentes; y a veces, de autoridades y de lugareños ausentes, que en esa forma expresan estímulo y solidaridad.

En medio de esos sentimientos, el hecho incontrovertible es que hay una proporción de estructuras físicas que han sufrido daños y una proporción, tal vez más importante, de personas que sufren perjuicios por los efectos de paralización. Parece pues evidente la urgencia de proceder a la reparación de las estructuras cuyo daño lo admite, y a la reposición de aquellas cuyo grado de destrucción es mayor.

Se trata en ambos casos, de decisiones de Inversión que, al igual de las decisiones de corto plazo, se realizan en condiciones que escapan a lo normal.

Los daños producidos por un sismo y que son reparables, constituyen sobretodo disminución del stock de capital o pérdida de capacidad operativa en la zona afectada. Al mismo tiempo, ocurre que con el argumento de la destrucción sufrida mejoran las posibilidades de obtener recursos de fuente externa, o bien éstas ponen a disposición, por propia iniciativa, recursos para la reconstrucción. Hay pues una pérdida de capacidad (stocks) y un aumento del flujo de recursos, esta vez destinados a recuperarla.

Lo anotado sugiere ya, condiciones particulares que definen urgencias y viabilidad de proyectos de inversión; pero a nuestro juicio hay aún más. En efecto, en condiciones normales, un proyecto de inversión y su localización se definen en función de la rentabilidad esperada (social y privada) y de la posibilidad (costo) del financiamiento; en todo caso, esto último se gestiona y normalmente se obtiene en razón de la rentabilidad esperada de la inversión. En el caso de reconstrucción, las inversiones resultan pre-determinadas por la existencia previa de infraestructura, creada por una o varias inversiones pasadas.

Las inversiones de reconstrucción son pues función del capital perdido o dañado y no necesariamente de la rentabilidad o del carácter económicamente beneficioso de la actividad implicada. En todo caso, las inversiones de reconstrucción pueden tomar la forma de inversiones de reposición, por deterioro físico de equipos e instalaciones, e incorporar condiciones superiores (cambio técnico incorporado) para la reiniciación de actividades. En este sentido, la reconstrucción puede implicar modernización y desarrollo y, en cualquier caso, compromete un período importante, ya que se inicia la vida útil de nuevas estructuras.

Para una mejor comprensión de los fenómenos que ocurren y de sus implicaciones admitamos, a título ilustrativo, la representación de un sector económico o social por su función de producción, ella misma explicada por el tipo de capital instalado. Si razonamos a la manera que lo hacen D. Dacy y H. Kunreuther<sup>26</sup>, tendríamos una situación como la que se muestra en las figuras No. 7 y No. 8.

La capacidad instalada, en magnitud y productividad, en el período anterior y operando hasta el momento en que ocurre el sismo ( $K_t$ ) permitía un

---

26. Dacy, D. y Kunreuther H., Op. cit., pp. 72—75. Se refieren a tres sectores agregados, el *sector privado residencial* que tiene pérdidas de propiedad, el *sector privado productivo* que pierde activos (equipos, instalaciones) y el *sector público* que asume las pérdidas de infraestructura. Además, postulan que aparece un nuevo sector, el *sector de reconstrucción*, cuyo fin es el de producir (reponer) el capital dañado o desaparecido en los otros tres sectores y tiene vigencia durante el período que dura la reconstrucción. Por nuestra parte se considera un sólo sector y la evolución de la capacidad productiva.

Figura N° 8

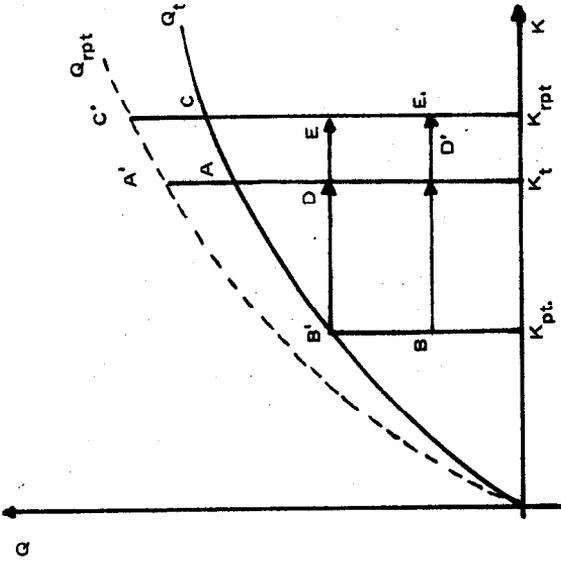
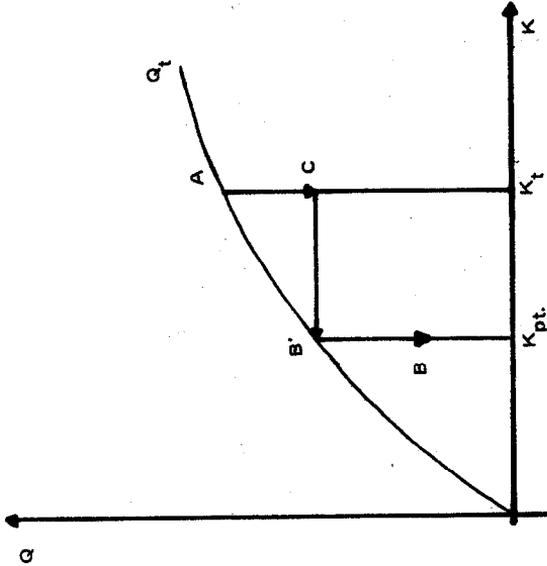


Figura N° 7



nivel de producción que contribuía a las disponibilidades de la población. Este capital y la producción podían ser suficientes y adecuados (o no serlo) a las solicitudes de la demanda, y ello hubiera determinado el interés de mantenerlos, incrementarlos o modificarlos, en circunstancias normales de evolución de la economía.

En el caso de ocurrir un sismo destructor, una parte de esa capacidad, del stock de capital, se pierde por destrucción y el capital utilizado se reduce a  $K_{pt}$  (capacidad o capital post-terremoto), de manera que el nivel de producción se reduce a  $B'$  en una proporción definida por la tecnología (según la elasticidad factor del producto), y como también quedan afectados otros factores como el empleo, el abastecimiento de insumos, (la disponibilidad de energía, principalmente), la producción posible caerá por debajo de la frontera, a un punto como B.

Ahora bien, el esfuerzo de reconstrucción o rehabilitación puede orientarse a la re-creación de las condiciones iniciales, lo cual implicaría reponer equipos e instalaciones de la misma generación y magnitud que las deterioradas o destruidas, y éste no es el caso típico. En caso de ocurrir ese fenómeno, se podrían recuperar los niveles de producción dentro de la misma función. Sin embargo, la reposición de equipos y estructuras es más bien la habilitación de equipos correspondientes y no idénticos, es decir bienes de capital que cumplen funciones o prestan servicios similares, pero en condiciones técnicamente superiores. En efecto, los equipos y estructuras adquiridos o construidos en un momento dado incorporan conocimiento (nivel tecnológico) reciente o cercano y en todo caso mayor que sus correspondientes de antigüedad, a veces, mucho mayor. Podemos pues admitir la hipótesis de que los equipos, estructuras y en general, los bienes de capital de reemplazo, por ser más modernos cronológicamente, incorporan tecnología superior y por lo mismo, al ser instalados, desplazan la función de producción.

Si definimos  $K_{rpt}$  como el capital reconstruido después del terremoto, debemos anotar que aunque en términos de stock fuera equivalente a  $K_t$  (reposición en sentido estricto) el nuevo capital es más productivo, eventual y deseablemente más resistente al riesgo sísmico y determina una nueva función de producción ( $Q_{rpt}$ ); e igual cosa ocurre si la creación de capital durante la reconstrucción es superior a las pérdidas efectivamente registradas.

El último aspecto señalado, el de una mayor resistencia o menor vulnerabilidad de las nuevas estructuras ante la amenaza sísmica es de suma importancia en un país como el nuestro, sometido a amenaza sísmica. Una inversión de reconstrucción puede estar condicionada por lo que acaba de ocurrir y sobreestimar los riesgos con la consecuencia, entre otras, de elevar los costos de habilitación, en busca de seguridad. En sentido opuesto, una decisión de in-

versión, puede adolecer de la desaprensión que genera la idea, relativamente fundada, de que un evento sísmico destructor no ocurre frecuentemente. En uno u otro caso, las condiciones de localización, observación de normas de construcción, elección de tipos de estructuras, concentración o dispersión, y otros aspectos determinan la gravedad de los riesgos en términos de vidas humanas y de daños en los activos, y debería adoptarse en relación con la probabilidad de ocurrencia de sismos, los períodos de recurrencia y las condiciones locales del suelo. Esto puede implicar costos adicionales que, si se tienen en cuenta las menores pérdidas probables, se justifican a largo plazo.

El fenómeno de inversiones masivas se verifica pues con diferente contenido en todos los sectores afectados y determina una presión de la demanda por bienes de capital, materiales de construcción así como de personal técnico o especializado y, en general mano de obra, muy por encima de lo normal y que se prolonga por varios años. La importancia que cobra el esfuerzo de reconstrucción, sugiere para algunos, la aparición de otro sector de la economía, el "sector de reconstrucción", cuyo producto crea o repone capacidad en cada uno de los otros<sup>27</sup>. Es evidente que este sector surge a raíz del desastre, cobra una importancia muy grande en los años inmediatos y luego la va perdiendo hasta desaparecer o dispersarse en el esfuerzo no simultáneo de firmas e industrias para reemplazar o modernizar su capacidad física instalada.

El período de reconstrucción es un período de euforia en la actividad y también de introducción de diversos cambios técnicos, y ambos fenómenos pueden generar dinamismos permanentes, bajo ciertas condiciones de participación local y de adecuación de los proyectos. Por otra parte, la longitud del período y el costo de la reconstrucción están ligados a la magnitud del desastre, a los objetivos de la reconstrucción y a la modalidad que se adopte para ejecutarla. En efecto, cuanto mayores sean los daños tomará más tiempo el repararlos, e igualmente cuanto más ambiciosas sean las metas; pero, en cualquier caso, es fundamental la forma simultánea o prioritaria en que se afrontan diversos proyectos, ya que eso compromete la buena utilización (asignación) de los recursos para la reconstrucción.

Es evidente que hay prioridades impostergables y aún la necesidad de afrontar todos los aspectos de la reconstrucción lo más inmediatamente posible. Sin embargo, no es indispensable hacerlo en la misma proporción o con la misma intensidad, es decir asignar los recursos en igual medida o con la misma celeridad. Teniendo en cuenta las prioridades sociales (humanas), es sin embargo importante considerar la productividad o rendimiento esperado de

---

27. Dacy y Kunreuther, op. cit., pp. 73-75.

las inversiones y los eslabonamientos, para elevar la eficiencia de los recursos (fondos) de reconstrucción que, en gran medida, son provenientes del exterior.

La búsqueda de eficiencia económica y la reducción del periodo de reconstrucción en la medida que fuera posible, tiene un doble interés. En primer término, el retorno a una cierta normalidad en la economía de la región; y, en segundo, la conveniencia de que la asignación de recursos (internos o provenientes del exterior) a nivel nacional, cubiertas las urgencias y reparados los daños, deje de estar concentrada en una región y pueda apoyar también el desarrollo de otras. Esto último es un problema grave en países pobres.

## 5. *CONCLUSIONES: INFORMACION, PREVISION Y DECISIONES FRENTE AL RIESGO SISMICO.*

En curso de nuestro estudio, tanto en el esfuerzo de definir un modelo de análisis de los efectos de un sismo, como en el de responder a las interrogantes que planteaban casos concretos se nos han presentado serios problemas en cuanto a referencias teóricas o analíticas y a la información necesaria. Existen estudios e información de fuentes ligadas al quehacer científico de las geociencias y de la ingeniería, que es poco conocida, muchas veces no es accesible al que no es especialista y por lo mismo es poco utilizada por quienes, en razón del riesgo sísmico, toman parte en decisiones que afrontan un futuro incierto. Son pues necesarios alguna rectificación y un esfuerzo complementario, tanto de generadores como de usuarios de la información. De investigadores y analistas, como de autoridades y de quienes preparan e implementan decisiones.

Por otra parte, aún desde esos puntos de vista, el nivel de conocimiento de las diferentes regiones del país no es suficiente, y tenemos el caso opuesto de información muy necesaria y que aún no existe. Tal es el caso de microzonificación de suelos que debería tenerse para todas las zonas de riesgo sísmico y servir de base a los planes de zonificación y uso de la tierra, así como para asegurar una mayor eficacia en la aplicación de los Reglamentos de Construcción y de Licitaciones, para la provisión de obras públicas.

Es fundamental para la preparación de decisiones económicas, un mejor conocimiento (y una difusión adecuada de ese conocimiento) acerca de la naturaleza y origen de los movimientos sísmicos, de los fenómenos de recurrencia y de la probabilidad de ocurrencia de sismos destructores.

Ese conocimiento permitiría incluir consideraciones relevantes de riesgo y evaluar los costos de la prevención frente a una seguridad deseable para los establecimientos humanos y a los costos probables de una reconstrucción.

La información que hemos elaborado a partir de observaciones sismológicas en un período suficientemente amplio para nuestro propósito (26 años) se apoya en un esfuerzo de asimilación de los métodos de estimación de riesgo sísmico de la geociencias y se concentra en estimaciones apoyadas en indicadores como el de Intensidad que, sin corresponder a una medida rigurosa, dan cuenta de niveles globales de daño. Nuestros resultados son consistentes con los habitualmente obtenidos por ingenieros y sismólogos, y pensamos que ofrecen un método eficiente y una información valde para quienes deben tomar decisiones.

Nuestras estimaciones se refieren a las probabilidades de ocurrencia de sismos de diferente intensidad y a los períodos probables de recurrencia. Este tipo de estimaciones constituye a nuestro juicio, información que, sujeta a perfeccionamiento tal vez, debería tenerse en cuenta para decidir localización, oportunidad de habilitación, y tipo de construcción (sismo-resistente) de las estructuras físicas y en general de la concreción de inversiones en un país como el nuestro.

La mentalidad generalizada de las poblaciones oscila entre el pánico que induce decisiones precipitadas<sup>28</sup> o la actitud displicente del que está seguro, (o actúa como si lo estuviera) de que no hay amenaza, o que nada anormal puede ocurrir. Esta apreciación es incluso válida si nos referimos a agentes de decisión colectiva y social y por ello pensamos que estimaciones como las que hemos presentado, deben ser útiles para hacer posible una mejor decisión frente a cualquier alternativa. Igualmente es necesaria una labor educativa que valore, tanto económica como socialmente, la previsión y la búsqueda de seguridad frente a la amenaza sísmica.

Por otra parte, para una correcta evaluación de las consecuencias de haber ocurrido un terremoto, es necesario tener referencia de lo que existía y en qué condiciones. Ahora bien, este es otro aspecto en el que hay lagunas importantes de información y en todo caso, dispersión y falta de actualidad. Pensamos que es fundamental tener información geológica y sismológica precisa y actual para las zonas de alto riesgo, y esto significa am-

---

(28) Como en el caso de ciertas reacciones de venta de inmuebles y emigración a propósito de las predicciones de B. Brady, interpretadas y magnificadas por la prensa, en 1980.

pliar redes de observación, esfuerzos de análisis y de divulgación. Pero, es igualmente fundamental disponer de información sobre la población, la existencia de activos (catastros actualizados) y sobre la actividad económica en esas zonas. Anotemos que ello no sólo facilitaría la identificación y la mejor evaluación de daños, sino también permitiría la implementación de algunas medidas preventivas, en general destinadas a mitigar daños, sobre todo humanos.

Nos referimos en este caso a la estimación de probabilidad de daños si ocurriera un sismo, y dado un estado de las estructuras. Esta es otra posible utilización del modelo que empleamos y que permitiría formar criterios sobre eventuales reubicaciones y sobre todo, a propósito de la oportunidad de reemplazo (demolición) o del tipo de reparaciones necesarias.

En lo que toca a las consecuencias de los sismos debemos referirnos, sobre todo al terremoto del 31 de mayo de 1970, por ser el que hemos estudiado con mayor detalle. En primer lugar hay que anotar que, dadas la cobertura, desagregación y actualidad insuficientes de la información, las pérdidas no han podido ser rápida y correctamente evaluadas; y aún a 15 años del sismo no es posible hacerlo. Nos queda, eso sí, la evidencia de que muchas pérdidas humanas pudieron haberse evitado por una mejor ubicación (Ranrahirca), una oportuna remodelación (Huaráz) o un desarrollo mejor orientado (Chimbote). Igualmente, pensamos que decisiones importantes como la habilitación de centrales de energía (Huallanca), de soluciones de tránsito (puentes de grandes luces o esbeltez), y otras, no parecen haber sido tomadas considerando los riesgos sísmológicos y geológicos de la región. En esos casos y otros similares, las consecuencias son más graves, y resultan importantes y frecuentes los gastos de reparación o rehabilitación. Hay pues un *costo de oportunidad de la imprevisión o de previsiones inadecuadas* que significan paralizar o postergar proyectos de desarrollo en otras áreas y aún en la propia zona afectada.

Producido un sismo destructor, es importante para la comunidad local, nacional e internacional, conocer la magnitud de los daños, y para ello habitualmente se recurre a estimaciones en términos de valor. En curso de nuestro trabajo hemos llegado, sin embargo, a relativizar la utilidad de esa información sintética y su consistencia.

En efecto, en el esfuerzo de estimar el valor de los daños o de las pérdidas aparecen problemas de definición o de concepto, como puede ser si se trata de evaluar las pérdidas reales (valor actual pre-sismo) o el valor de reposición (costo de la inversión de reconstrucción). Igualmente, aparecen los problemas de asignar valor económico a activos que representan sobre todo

valores culturales o históricos, y en fin, lo que son las pérdidas funcionales o por paralización de la actividad.

Una estimación en términos de valor puede ser útil en lo inmediato y para sugerir un orden de magnitud de las necesidades de ayuda, pero en lo sucesivo, parece más útil algún inventario de daños que contribuya a definir el contenido y las prioridades en el proceso de reconstrucción. Por lo demás, una estimación rigurosa del valor de los daños tropieza por el momento, con un escollo insalvable que es el de la *información* requerida.

En todo caso, producida la destrucción y planteados los problemas que hemos señalado, aparece otra limitación y es la carencia o la debilidad de una *organización* que oriente, seleccione y asegure la distribución de la ayuda. Y, lo que es aún más importante, que en forma permanente y pre-visual eduque y promueva en la población actitudes para aminorar y para superar el caos, una vez producida una perturbación.

En zonas de riesgo potencial debe existir una organización y un esfuerzo que en términos positivos y permanentes asuma la responsabilidad de informar, liderar e intermediar tanto en la prevención, como en la mitigación de efectos. Este puede ser el rol del sistema de Defensa Civil, bajo ciertas condiciones.

En lo que toca a la reconstrucción, es evidente que en una situación en que inicialmente hay carencias y pobreza (sub-desarrollo), el esfuerzo de rehabilitación tiene que ir más allá de la simple reposición, y así hemos podido comprobarlo al examinar el destino de las inversiones en la zona afectada por el sismo del 31 de mayo de 1970, tanto en lo que se refiere a sectores económicos, como a localización geográfica. En la zona del Callejón de Huaylas y más claramente en Chimbote, se ha producido un mejoramiento de la infraestructura (que es evidente por simple inspección) y muy probablemente un crecimiento del producto regional, cosa que desgraciadamente no pudimos siquiera aproximar, por falta de información.

Debemos anotar que, en razón de una catástrofe, desaparece o se debilita la restricción de fondos para inversión: tanto los de fuente extranjera (hay voluntad y medios de ayudar), como los de fuente nacional; el presupuesto público se reasigna en favor de las zonas afectadas o se crean recursos específicos. Todo ello estimula la rapidez, variedad y el mayor alcance de los proyectos. Sin embargo, debemos anotar también, que no siempre estos proyectos involucran consideraciones de previsión contra riesgos futuros y, en ese sentido, las amenazas permanecen, apenas modificadas.

Finalmente, el hecho de que una catástrofe moviliza la ayuda interna y externa, puede contribuir a un comportamiento inmediatista, pasivo e irresponsable. Es posible no tomar precauciones y luego, esperar y exigir que el

Estado o una agencia exterior compense los daños sufridos. Sin embargo, es evidente que las pérdidas en que a veces incurren familias y poblaciones enteras, no pueden ser recuperadas exclusivamente por el esfuerzo propio. Lo que nos parece interesante es crear conciencia de los riesgos, de las responsabilidades individuales y sociales; y por otra parte introducir sistemas de incentivos que induzcan comportamientos previsionales y, en alguna manera, contribuyan a una mejor repartición de las cargas de la reconstrucción. Esto plantea la necesidad de una *mezcla adecuada* de acción (participación) del Estado en la prevención de riesgos y en la reconstrucción, y de participación de las empresas y hogares en esos esfuerzos, vía seguros. Dados los niveles y desigualdad de ingresos en el país no se puede pensar en una solución estrictamente privada o vía el mercado. El problema de fondo es que tanto los poderes públicos, como los particulares integren la consideración del riesgo sísmico en sus decisiones y economícen a largo plazo.

## 6. BIBLIOGRAFIA

ALGERMISSEN, S.T., MC GRATH M.B. and HANSON, S.L.

(1978) *Development of a Technique for rapid Estimation of Earthquake Losses*, Open-file Report 78-440 U.S.G.S. Golden (Co).

ALGERMISEN, S.T., STEINBRUGGE, K.V. and LUGORIO, H.L.

(1978) *Estimation of Earthquake Losses to Building* (Except single family Dwellings). Open-file Report 78-441, U.S.G.S. Golden (Co.)

BERLIN, G.L.

(1978) *Earthquakes and the Urban Environment*. CRC Press. Florida.

BOISSINADE A. and SHAH H.C.

(1982) *Earthquake Damage and Loss Estimation, Review of Available Methods*. Paper – The John Blume Earthquake Engineering Center-Stanford Univ., Stanford.

CASAVARDE, L.

(1979) *Riesgo Sísmico en el Departamento de Lima*. Tesis de Ingeniería Civil. PUC., Lima.

CASAVARDE L. y VARGAS, J.

(1980) *Zonificación Sísmica del Perú*. Departamento de Ingeniería. Universidad Católica del Perú. Serie Difusión. DI-80-04, Lima.

CASAVARDE, L. y VARGAS, J.

(1980) *Riesgo Sísmico*. Departamento de Ingeniería, Universidad Católica del Perú. Serie Difusión DJ-80-02.

CASAVARDE, L. y VARGAS, J.

(1982) *Mapa de Distribución Probabilística de Intensidades del Perú*, IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Chiclayo, Perú.

CORNELL, C.A. y BENJAMIN, J.R.

(1971) *Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers*, McGraw Hill, N.Y.

DACY, D. y KUNREUTHER, H.

(1969) *The Economics of Natural Disasters - Implications for Federal Policy*. The Free Press, New York.

DAHMEN, M.

(1981) "Guatemala después del terremoto". UNICEF: *Noticias del UNICEF*, No. 103.

DOLLFUS, O.

(1981) *El Reto del espacio andino*, Instituto de Estudios Peruanos, Lima.

DREZE, J.

(1972) "Econometrics and Decision Theory". *Econometría*. Vol. 40, No. 1 enero, pp. 1-17.

GIESECKE, A. y SILGADO, E.

(1981) *Terremotos en el Perú*. Ediciones Rikchay. Lima.

GIESECKE, A.

"Algunos aspectos de la reacción ante la predicción de un terremoto en el Perú". *Revista Geofísica*. I.G.H., No. 13.

HAAS, J.E., KATES P.W. y BOWSEN, M.J. (Eds.)

(1977) *Reconstrucción Following Disaster*. The M.I.T. Press, Cambridge (Mass).

HIRSHLEIFER J. and RILEY, J.G.

- (1979) "The Analytics of Uncertainty and Information An Expository Survey". *Journal of Economic Literature*, Vol. XVII, pp. 1375-1421.

MASSE, P.

- (1963) *La Elección de las Inversiones; Criterios y Métodos*. Ed. Saguatario, Barcelona.

MUKERJEE, T.

- (1971) *Economic Analysis of Natural Hazards: A preliminary study of adjustments to earthquakes and their costs*. *Natural Hazard Research*. Working paper No. 17. University of Toronto (Dpt. of Geography).

RICHTER, CH. F.

- (1958) *Elementary Seismology*. W.H. Freeman and Company, San Francisco.

ROBERTS, R.B. MILLIARAN, J.W. and ELLSON R.W.

- (1982) *Earthquakes and Earthquakes Predictions: Simulating their economic effects*. Technical Report for NSF. University of South Carolina (College of Bussiners Administration). S.C.

RUSSELL, C.

- (1969) *Losses from natural hazard*. *Natural Hazard Research*. Working paper No. 10. University of Toronto (Dpto. of Geography).

SAKAGAMI, Y.; FURIBAYASHI E., UEDA, O. y TAZAKI, T.

- (1980) *Fundamental factors in optimizing Earthquake Disaster Mitigation Investment*. Twelfth Joint Meeting of US-Japan Panel on Wind and Seismic Effects, UJNR, Washington D.C.

SAVAGE, L.

- (1954) *Foundations of Statistics*, J. Wiley of Sons, N.Y.

SILGADO, E.

- (1973) *Historia de los Sismos más notables ocurridos en el Perú. 1513-1970*. CERESIS, Lima.

UNESCO-CERESIS

(1970) *Informe Preliminar de la Misión de Reconocimiento Sismológico, Terremoto del Perú del 31 de Mayo de 1979.*

UNESCO

(1980) (Conferencia Internacional sobre Evaluación y Mitigación de los riesgos sísmicos, 1976). *Terremotos - Evaluación y Mitigación de su Peligrosidad.* Editorial Blume, Barcelona.

