

# EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE CON FINES DE ESTIMACIÓN DE PASIVOS CONTINGENTES Y DÉFICIT FISCAL<sup>1</sup>

Omar D. Cardona<sup>2</sup>, Mario G. Ordaz<sup>3</sup>, Álvaro M. Moreno<sup>4</sup>, Sandra Santa-Cruz<sup>5</sup> y Mabel C. Marulanda<sup>6</sup>

**Resumen:** A nivel macroeconómico, los desastres futuros son pasivos contingentes que se deben incluir en el balance de cada nación. Al igual que un pasivo pensional o las garantías que debe asumir el Estado por créditos de entidades territoriales o por concesiones, los costos de reposición por desastre son pasivos que se materializan al ocurrir los fenómenos naturales. Por otra parte los desastres extremos pueden generar un importante déficit fiscal debido a la necesidad de recursos para recuperarse y reconstruir el stock de capital afectado. El Índice de Déficit de Desastres (*IDD*) es un indicador que mide el riesgo del país desde una perspectiva macroeconómica y financiera de acuerdo a los posibles eventos catastróficos. El *IDD* captura la relación entre la demanda de recursos contingentes para cubrir las pérdidas causadas por un Evento Máximo Considerado (EMC) y la resiliencia económica del sector público; es decir, la disponibilidad de los fondos internos y externos para restituir el inventario físico afectado. Para calcular las pérdidas potenciales, en el modelo, al igual que en la industria aseguradora, se define un nivel de pérdida probable, basado en los impactos críticos que pueden presentarse durante un período de exposición dado; y para la resiliencia económica, el modelo calcula la capacidad financiera del país para hacer frente a la situación. El acceso a estos recursos tiene limitaciones y costos que deben ser considerados, como los valores factibles de acuerdo a las condiciones macroeconómicas y financieras del país. Este artículo presenta el modelo del *IDD* y los resultados para trece países de las Américas en el marco del Programa de Indicadores de Riesgo y Gestión de Riesgos, desarrollado con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para diseñar herramientas apropiadas de evaluación de riesgo para orientar la toma de decisiones de los gobiernos en materia de pasivos contingentes y estimación del déficit fiscal.

**Palabras clave:** déficit fiscal, desastres, pérdidas económicas, riesgo sísmico.

## DISASTER RISK EVALUATION WITH THE PURPOSE TO ASSESS CONTINGENCY LIABILITIES AND FISCAL DEFICIT

**Abstract:** At macroeconomic level, future disasters are contingency liabilities that must be included in the balance of each nation. As pension liabilities or guaranties that the government has to assume for the credit of territorial entities or due to grants, disaster reposition costs are liabilities that become materialized when the natural hazard events occur. By other way, extreme disasters can generate an important fiscal deficit due to need of resources to recover and reconstruct the capital stock affected. The Disaster Deficit Index (DDI) is an indicator that measures country risk from a macroeconomic and financial perspective, according to possible catastrophic events. The DDI captures the relationship between the demand for contingent resources to cover the losses caused by a Maximum Considered Event and the public sector's economic resilience; that is, the availability of

<sup>1</sup> Artículo recibido el 15 de septiembre de 2007 y aceptado el 3 de febrero de 2008.

<sup>2</sup> Profesor e Investigador, Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), Universidad Nacional de Colombia, Manizales. E-mail: odcardonaa@unal.edu.co

<sup>3</sup> Profesor e Investigador, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad Universitaria, México DF. E-mail: mors@pumas.iingen.unam.mx

<sup>4</sup> Profesor e Investigador, Centro de Investigaciones para el Desarrollo (CID), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá DC. E-mail: amoreno65@yahoo.es

<sup>5</sup> Ingeniera Investigadora, Evaluación de Riesgos Naturales (ERN), Ingenieros Consultores. E-mail: SantaCruzSandra@aol.com

<sup>6</sup> Asistente de Investigación, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. E-mail: mmarulan@cimne.upc.edu

internal and external funds for restoring affected inventories. For calculating potential losses the model follows the insurance industry in establishing a probable loss, based on the critical impacts during a given period of exposure, and for the economic resilience the model computes the country's financial ability to cope with the situation. Access to these resources has limitations and costs that must be taken into account as feasible values according to the macroeconomic and financial conditions of the country. This paper presents the model of DDI and the results for thirteen countries of the Americas in the framework of the Program of Indicators for Disaster Risk Management, which was developed with the support of the Inter-American Development Bank (IDB) to design appropriate risk evaluation tools to guide the governmental decision making.

**Key words:** disasters, economic losses, fiscal deficit, seismic risk.

## INTRODUCCIÓN

La gestión del riesgo requiere una medida del riesgo teniendo en cuenta no sólo el daño físico esperado, las víctimas y pérdidas económicas equivalentes, sino también factores sociales, organizacionales e institucionales. Parte de las dificultades para alcanzar una gestión efectiva del riesgo ha sido la ausencia de un adecuado marco conceptual que facilite su evaluación e intervención desde una perspectiva multidisciplinaria. La mayoría de los índices y técnicas de evaluación existentes no expresan el riesgo en el lenguaje de los diversos tomadores de decisiones y no se fundamentan en un enfoque holístico que invite a su intervención. Es necesario hacer “manifiesto el riesgo” en forma diferente ante los órganos de decisión responsables de la economía, el ambiente, la vivienda, la infraestructura, la agricultura, o la salud, por mencionar algunos. No es lo mismo, por ejemplo, hacerlo para un alcalde o una comunidad local que para una autoridad gubernamental del orden nacional. Si no se hace manifiesto el riesgo de manera que logre preocupar al actor involucrado, no se logrará avanzar decididamente en la reducción del riesgo de los desastres. El riesgo en una escala social o territorial micro es más detallado, mientras que, si se trata del nivel macro, los detalles se pierden. Sin embargo, la toma de decisiones y la necesidad de información en cada nivel es realmente diferente ya que los actores sociales y los interesados en general no son los mismos. Por lo tanto, es necesario contar con herramientas apropiadas de evaluación para facilitar la comprensión del problema y orientar la toma de decisiones; es fundamental entender cómo surge la vulnerabilidad, cómo crece y cómo se acumula. Por otra parte, es necesario también evaluar el “desempeño” de la gestión del riesgo para que los tomadores de decisiones puedan tener acceso a información relevante y puedan así identificar o proponer políticas y acciones factibles.

Se ha propuesto un sistema de indicadores que permite representar el riesgo a escala nacional, facilitando la identificación de aspectos esenciales que lo caracterizan, desde una perspectiva económica y social. Su uso también hace posible la evaluación del desempeño de la gestión del riesgo con el fin de establecer objetivos de desempeño que mejoren la efectividad de la gestión. Cuatro componentes o indicadores compuestos han sido diseñados para representar los principales elementos de la vulnerabilidad e ilustrar el progreso de cada país en gestión de riesgos. Este artículo presenta uno de ellos, relacionado con el impacto macroeconómico potencial: El Índice de Déficit de Desastres (*IDD*) que es un enfoque novedoso y único en su género pues no existe otro enfoque similar en la literatura tanto en ingeniería como en análisis macroeconómico de los desastres. El sistema de indicadores fue desarrollado por el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia, en Manizales, para el Banco Interamericano de Desarrollo, en el marco de su programa de Indicadores de Riesgo y Gestión de Riesgo en las Américas. Los informes del programa, detalles técnicos y resultados de aplicación para los países de las Américas se pueden consultar en la siguiente página web: <http://idea.unalmz.edu.co> (Cardona, 2005; Carreño et al., 2005; IDEA, 2005).

## INDICE DE DÉFICIT DE DESASTRES (*IDD*)

El *IDD* refleja el riesgo del país desde una perspectiva macroeconómica y financiera ante eventos catastróficos probables para lo cual es necesario estimar la situación de impacto más crítica en un tiempo de exposición, definido como referente, y la capacidad financiera del país para hacer frente a dicha situación. Este índice mide la pérdida económica que un país en particular puede sufrir cuando un evento catastrófico tiene lugar, y las implicaciones en términos de los recursos necesarios para enfrentar la situación. La construcción del *IDD* requiere realizar un análisis predictivo, basado en evidencias históricas y científicas, y el dimensionamiento del valor de la infraestructura y otros

bienes y servicios que podrían ser afectados. El *IDD* corresponde a la relación entre la demanda de fondos económicos contingentes o pérdida económica directa,  $L_R^P$ , que debe asumir el sector público a causa de un Evento Máximo Considerado (EMC)<sup>7</sup> y la resiliencia económica presente de dicho sector,  $R_E^P$ , correspondiente a la disponibilidad o acceso a fondos internos y externos del país para restituir el inventario afectado<sup>8</sup>. Así, el *IDD* es calculado mediante la ecuación:

$$IDD = \frac{L_R^P}{R_E^P} \quad (1)$$

donde:

$$L_R^P = \varphi L_R \quad (2)$$

$L_R^P$  representa el impacto económico directo máximo, en términos probabilísticos, en los activos públicos ( $p$ ) y privados que sean responsabilidad del gobierno. Este valor es una fracción  $\varphi$  del impacto directo total,  $L_R$ , el cual está asociado al EMC de una intensidad,  $I_R$ , y cuya tasa anual de excedencia (o período de retorno,  $R$ ) se define igual para todos los países (por ejemplo períodos de retorno de 50, 100 y 500 años, que equivalen a 18%, 10% y 2% respectivamente de probabilidades de excedencia en un periodo de exposición de 10 años). Esta pérdida total,  $L_R$ , puede ser valorada como sigue:

$$L_R = E V(I_R F_S) K \quad (3)$$

donde  $E$  es el valor económico de las propiedades expuestas;  $V(.)$  es la *función de vulnerabilidad*, que relaciona la intensidad del evento con la fracción del valor que se pierde si se presenta un evento de tal intensidad;  $I_R$  es la intensidad del evento asociada al periodo de retorno seleccionado;  $F_S$  es un factor que corrige intensidades que dan razón de efectos de sitio locales; y  $K$  es un factor que corrige la incertidumbre en la función de vulnerabilidad.

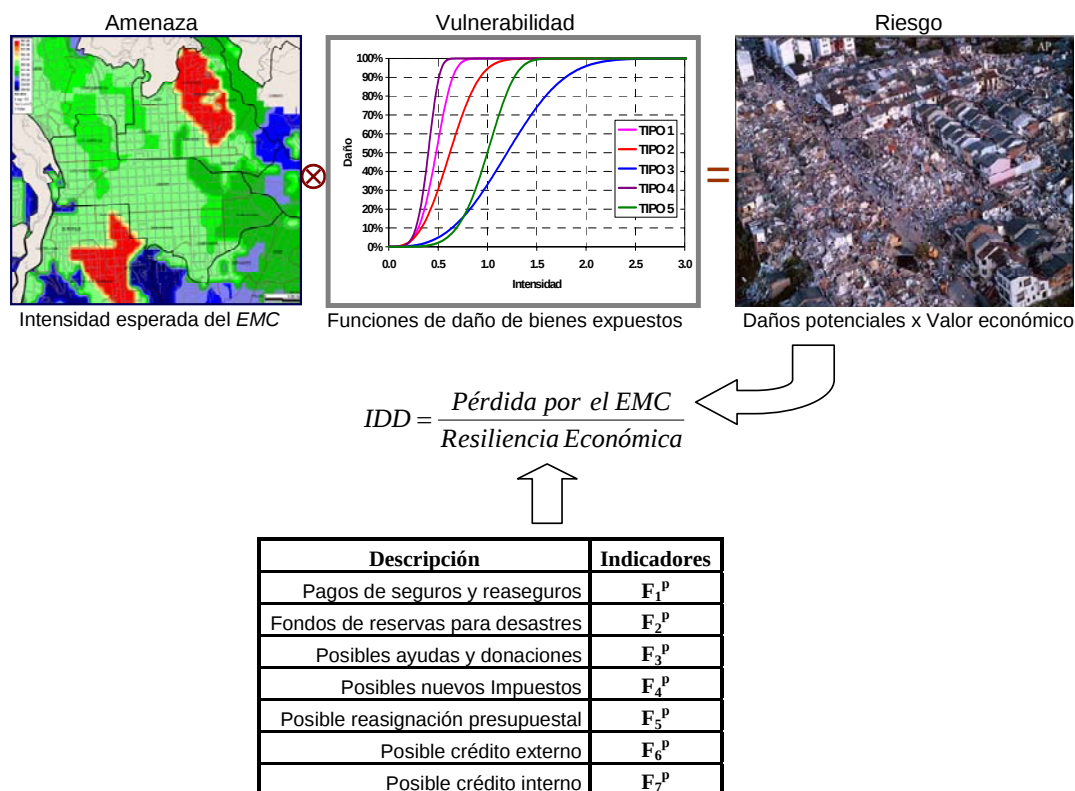
La resiliencia económica,  $R_E^P$  (denominador del índice *IDD*), está definida por la ecuación (4):

$$R_E^P = \sum_{i=1}^n F_i^P \quad (4)$$

donde  $F_i^P$  representa los posibles fondos internos o externos que frente al daño el gobierno, como responsable de la recuperación o propietario de los bienes afectados, puede acceder en el momento de la evaluación. El acceso a dichos fondos tiene restricciones y costos asociados por lo cual es necesario estimarlos como valores factibles de acuerdo con las condiciones macroeconómicas y financieras de cada país. Para cada caso es necesario estimar los siguientes valores: *el pago de seguros y reaseguros* que aproximadamente recibiría el país por los bienes y la infraestructura asegurada del gobierno; *las reservas disponibles en fondos para desastres* con los que cuenta el país en el año de la evaluación, los valores que pueden recibirse como *ayudas y donaciones*, tanto públicas como privadas, nacionales como internacionales; el valor posible de *nuevos impuestos* que cada país podría recaudar adicionalmente en caso de un desastre mayor; el *margen de reasignación presupuestal* del país, que usualmente corresponde al margen de gastos discrecionales del gobierno; valor factible de *crédito externo* que puede obtener el país con los organismos multilaterales y en el mercado de capitales en el exterior; y el *crédito interno* que puede obtener el país con los bancos comerciales y en algunos casos con el banco central, cuando es legal obtener préstamos del mismo, significando liquidez inmediata. La Figura 1 presenta un diagrama que ilustra la manera cómo se obtiene el *IDD*.

<sup>7</sup> Al igual que en la industria aseguradora se define un nivel de referencia para estimar pérdidas máximas factibles (ASTM, 1999) o el ampliamente utilizado concepto de pérdida máxima probable, PML en inglés.

<sup>8</sup> Un enfoque similar para estimar la falta de recursos ha sido propuesto por Freeman et al. (2002b). En dicho informe se afirma que la capacidad de contar con los fondos necesarios para la reconstrucción inmediatamente después de ocurrido un desastre es crucial para que un país pueda recuperarse con un mínimo de consecuencias a largo plazo.



**Figura 1: Diagrama para el cálculo del IDD.**

Un *IDD* mayor que 1.0 refleja la incapacidad económica del país para hacer frente a desastres extremos aún cuando aumente al máximo su deuda. A mayor *IDD* mayor será el rango entre las pérdidas y la capacidad del país para enfrentarlos. Si existen restricciones para el endeudamiento adicional, esta situación implicaría la imposibilidad para recuperarse.

Para facilitar poner en contexto el *IDD*, se ha desarrollado un indicador complementario, el *IDD'*, para ilustrar qué porción de los gastos de capital (GC) del país,  $E_C^P$ , corresponde la pérdida anual esperada,  $L_y^P$ , o prima pura de riesgo. Es decir qué porcentaje de la inversión sería el pago anual por desastres futuros.

$$IDD' = \frac{L_y^P}{F_S^P} \quad (5)$$

El valor de la prima pura es equivalente a la inversión o ahorro promedio anual que tendría que hacer el país para cubrir aproximadamente sus pérdidas por desastres futuros. El *IDD'* también se estimó con respecto al monto de recursos sostenible por superávit intertemporal,  $F_S^P$ . Es decir el porcentaje que representaría la prima técnica del ahorro potencial a valor presente, como lo expresa la ecuación (6).

$$IDD' = \frac{L_y^P}{E_C^P} \quad (6)$$

El monto de recursos sostenible por superávit intertemporal,  $F_S^P$ , es el ahorro que el gobierno puede destinar, calculado a 10 años, para atender de la mejor manera los efectos de los desastres (ver IDEA, 2005). Lo que interesa conocer es si el gobierno, desde un punto de vista ortodoxo, cumple con su restricción presupuestal intertemporal, es

decir, si las trayectorias de flujos de gastos e ingresos garantizan –en términos de valor presente– que los superávits primarios corrientes y futuros permiten cancelar el *stock* de deuda actual. Es decir, la disciplina financiera exige reconocer que la acción del gobierno tiene límites y que su capacidad financiera para enfrentar los desastres debe cumplir con la restricción intertemporal de las finanzas públicas. En caso de que las pérdidas anuales excedan el monto de recursos disponibles por superávit se prevé que con el tiempo habría un déficit por desastres que implicarían el inevitable aumento de la deuda. Es decir, que el país no cuenta con suficientes recursos para atender futuros desastres. En caso de que existan restricciones para el endeudamiento adicional implicaría la imposibilidad de recuperarse. En general, si el superávit intertemporal es negativo el pago de la prima sencillamente aumentaría el déficit ya existente.

Estos indicadores permiten dimensionar de una manera sencilla la exposición fiscal y el déficit potencial (o pasivos contingentes) del país a causa de desastres extremos. Permiten a los tomadores de decisiones del nivel nacional tener una dimensión del problema presupuestal que tendría el país y la necesidad de considerar este tipo de cifras en la planificación financiera (Freeman et al., 2002b). Estos resultados ratifican la necesidad de identificar y proponer posibles políticas y acciones efectivas como la protección de los recursos del gobierno mediante el uso de seguros y reaseguros (mecanismos de transferencia) o establecer fondos de reservas con base en criterios adecuados de retención de pérdidas. Otras acciones incluyen contratación de créditos contingentes y, en particular, la necesidad de invertir en medidas estructurales y no estructurales de prevención y mitigación para reducir los daños y pérdidas y de esta forma el impacto económico futuro de los desastres.

En los siguientes párrafos se considerará el marco teórico del riesgo y las variables involucradas en la ecuación (3) desde la perspectiva de una amenaza y una vulnerabilidad específica.

## ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS PROBABLES

El cálculo de las pérdidas durante futuros fenómenos naturales peligrosos (numerador del índice) es un problema complejo. Dadas las incertidumbres que afectan este proceso, las pérdidas se deben considerar como variables aleatorias, que sólo pueden ser conocidas de forma probabilística, es decir, sólo a través de sus distribuciones de probabilidades. Por esta razón, este enfoque ha sido adoptado en este modelo (Ordaz y Santa-Cruz, 2003). Desde el punto de vista teórico es claro que, dado el estado del conocimiento, es imposible predecir los momentos de ocurrencia y las magnitudes de todos los futuros eventos naturales peligrosos que potencialmente se puedan convertir en desastre. En vista de la naturaleza incierta de los procesos involucrados, la segunda mejor opción es estimar la distribución de probabilidad de ocurrencia y los impactos de todos los futuros desastres. Sin embargo, en general, esta estimación también es una tarea titánica. Una manera conveniente de describir las distribuciones de probabilidad requeridas (las de frecuencia y magnitud del impacto físico) es el uso de la curva de la tasa de excedencia de las pérdidas físicas. Esta curva relaciona el valor de la pérdida con la frecuencia anual con la cual este valor de pérdida es excedido, el inverso de la tasa de excedencia es el periodo de retorno. Los detalles de este tipo de modelos de estos procedimientos pueden verse en el artículo de Cardona et al. (2008).

### Amenaza

En este contexto, la intensidad se define como una medida local de la perturbación producida por un evento natural sobre algunas características físicas del contexto que son relevantes para el estudio del fenómeno. Para todos los tipos de amenaza, es casi imposible describir la intensidad con un solo parámetro. Por ejemplo, para la amenaza sísmica, la aceleración máxima del suelo aporta alguna información general de la severidad del movimiento del suelo, pero no aporta información sobre su contenido frecuencial, que es crucial para una estimación exacta de la respuesta estructural. En vista de esto, se entiende que la descripción mediante un solo parámetro de intensidad siempre será incompleta. Sin embargo, una descripción multivariable de la intensidad es de lejos muy compleja para los objetivos (realmente, muy pocos, si es que existen, estudios de riesgo realizados en el pasado han considerado descripciones multivariable de la intensidad). Se propone usar una sola medida de la intensidad para cada tipo de amenaza que correlacione bien con el daño y para la cual las mediciones de la amenaza son relativamente fáciles de obtener. Se debe apreciar que, puesto que en este caso el interés es principalmente en desastres que tienen un alto impacto económico a nivel nacional, se ha restringido el estudio a aquellas amenazas que pueden producir grandes y súbitas pérdidas económicas como los terremotos o los huracanes. Otras amenazas, como deslizamientos e inundaciones, son de importancia extrema a nivel local e históricamente han producido muchas víctimas. No obstante, su impacto económico en la infraestructura pública ha sido muy limitado (IDEA, 2005). Desastres lentos, como sequías, también

son muy importantes, pero sus impactos económicos se difieren en el tiempo, por lo cual no causan efectos súbitos, y por lo tanto no están bajo el objetivo del modelo de estimación propuesto.

En muchos casos, las estimaciones de amenazas son obtenidas de estudios regionales, o suponiendo condiciones ambientales promedio. Por ejemplo, en este caso los mapas de amenaza sísmica utilizados fueron producidos tomando las condiciones promedio de suelo firme, o sea, asumiendo que no hay amplificaciones significativas de la intensidad sísmica debido a suelos blandos (Istituto Nazionale di Geofisica, 1999). También los mapas de velocidad del viento son construidos generalmente suponiendo condiciones de exposición promedio, lo que significa que las velocidades no son tomadas para sitios en las colinas, sino para sitios de referencia. Sin embargo, para cada tipo de amenaza, podrían existir características ambientales particulares en las ciudades bajo estudio que ocasionan que las intensidades puedan ser mayores o menores que las intensidades en sus cercanías. En otras palabras, pueden existir características ambientales que difieren de aquellas correspondientes a las usadas en el modelo de evaluación de la amenaza. Estas características son conocidas como condiciones de sitio locales, y permiten la aparición de efectos de sitio locales. En el marco de la presente descripción, los efectos de sitio locales en todas las ciudades y para todos los tipos de amenaza son imposibles de tener en cuenta de una forma precisa. El primer enfoque preliminar sería simplemente ignorar los efectos de sitio. Esto equivale a tomar un valor de  $F_s = 1$  en la ecuación (3). Sin embargo, existen casos en donde los efectos de sitio locales no pueden pasar desapercibidos. Puesto que por definición estos efectos de sitio son locales, es imposible señalar reglas generales de cómo adecuar los valores de  $F_s$  para todas las ciudades y todos los tipos de amenaza. Desde esta perspectiva, los valores apropiados deben ser asignados por expertos locales que participen en las estimaciones de pérdidas en cada país.

Una vez escogida una intensidad apropiada para cada tipo de fenómeno, se debe dar una descripción probabilística de la amenaza. Usualmente, la amenaza se expresa en términos de tasas de excedencia de valores de intensidad. Hay que resaltar que para este propósito se requiere de información local de la amenaza, es decir, de tasas de excedencia de intensidad en los lugares o ciudades de interés (dado que uno de los supuestos es que todas las propiedades en una ciudad se encuentran concentradas en un punto o en un área geográfica de tamaño limitado). En principio, una curva de amenaza debe ser construida para cada tipo de amenaza y para cada ciudad bajo estudio. Sin embargo, recordando la ecuación (3), se necesitan sólo unos cuantos puntos de esta curva, especialmente aquellas intensidades asociadas a los períodos de retorno seleccionados.

En el caso de la amenaza sísmica la intensidad es calculada teniendo en cuenta la suma de los efectos de todas las fuentes sísmicas localizadas en ciertas áreas de influencia. La amenaza, expresada en términos de las tasas de excedencia de las aceleraciones máximas para suelo firme,  $a$ , es calculado a través de la siguiente expresión (Esteve, 1970):

$$\nu(a) = \sum_{j=1}^N \int_{M_0}^{M_u} -\frac{d\lambda}{dM} \Pr(A > a | M, R_j) dM \quad (7)$$

donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas,  $N$ , y  $\Pr(A > a | M, R_j)$  es la probabilidad de que la intensidad exceda un cierto valor, dada la magnitud del terremoto,  $M$ , y la distancia entre la fuente  $i$ th y el sitio,  $R_j$ . La función  $\lambda(M)$  representa las tasas de actividad de las fuentes sísmicas. La integral se realiza de  $M_0$  a  $M_u$ , o sea desde la magnitud mínima hasta la máxima; lo que indica que se tienen en cuenta la contribución de todas las magnitudes para cada fuente sísmica. Cabe resaltar que la ecuación anterior sería exacta si las fuentes sísmicas fueran puntos. En realidad son volúmenes, por lo tanto los epicentros no pueden ocurrir únicamente en el centro de las fuentes, sino que pueden ocurrir, con la misma probabilidad, en cualquier punto dentro del volumen correspondiente. Suponiendo que la variable intensidad tiene una distribución lognormal dadas, la magnitud y la distancia, la probabilidad  $\Pr(A > a | M, R_j)$  es calculada de la siguiente forma:

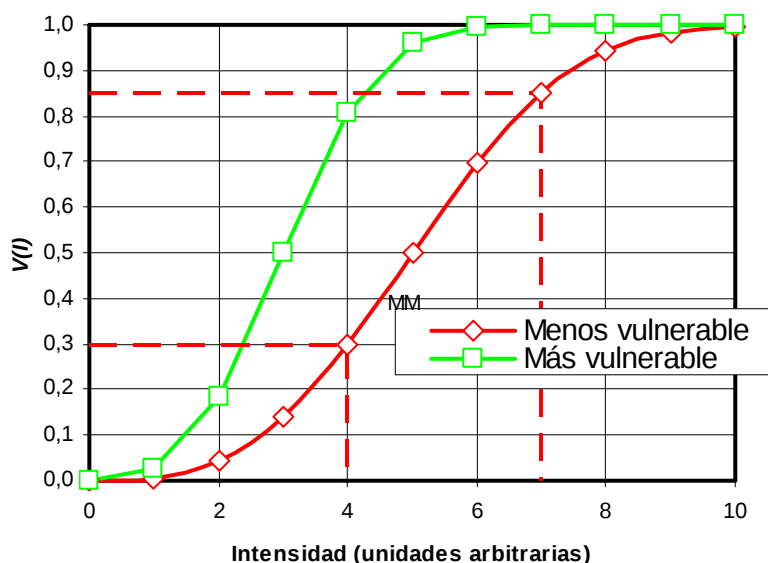
$$\Pr(A > a | M, R_j) = \varphi \left[ \frac{1}{\sigma_{\ln a}} \ln \frac{MED(A | M, R_j)}{a} \right] \quad (8)$$

siendo  $\varphi(\dots)$  la distribución normal estándar,  $MED(A | M, R_j)$  el valor medio de la variable intensidad (dada por la ley de atenuación correspondiente) y  $\sigma_{\ln a}$  la desviación estándar del logaritmo natural de  $a$ . En las ecuaciones (7) y (8) se incluyen las leyes de atenuación y su incertidumbre. La amenaza sísmica se expresa en términos de las tasas de excedencia de valores dados de intensidad sísmica. La intensidad sísmica,  $a$ , se refiere a las ordenadas del espectro de

respuesta de pseudoaceleración para un amortiguamiento crítico del 5% para un período estructural dado,  $T$ . Una vez que las leyes de atenuación para diferentes períodos estructurales son calculadas, es posible determinar el espectro de amenaza uniforme para un sitio específico, basado en el valor de intensidad calculado (aceleración) para un periodo de retorno definido.

## Vulnerabilidad

Como se indicó en la ecuación (3),  $V(I)$  es la función de vulnerabilidad que relaciona la intensidad del evento,  $I$ , con la fracción esperada del valor que se pierde si se presenta un evento de tal intensidad. Las funciones de vulnerabilidad usualmente tienen formas como las que se muestran en la Figura 2. Se dice que un edificio es *más vulnerable* que otro si se espera un mayor daño dadas unas amenazas con intensidades similares. Las funciones de vulnerabilidad son altamente específicas para la amenaza. En otras palabras, en la misma ciudad, los edificios e infraestructuras pueden ser muy vulnerables a cierta amenaza y muy poco vulnerables a otra.



**Figura 2: Representación de las funciones de vulnerabilidad.**

Como se ha definido, las funciones de vulnerabilidad podrían cambiar dependiendo de factores tecnológicos, educativos, culturales y sociales. Por ejemplo, para la misma intensidad sísmica, los edificios en una ciudad podrían ser más vulnerables que los de otra ciudad debido a la alta utilización de una tecnología de construcción o por la aplicación de diseños sismorresistentes en la segunda. De este modo, en rigor, las funciones de vulnerabilidad se deben expresar de la siguiente forma:

$$V(I) = V(I; \phi) \quad (9)$$

donde  $\phi$  es un conjunto de parámetros que son señalados como factores de vulnerabilidad. De hecho, es a través de estos factores que se pueden apreciar los efectos de prevención, y su impacto económico puede ser valorado. En el supuesto, por ejemplo, que las curvas de vulnerabilidad se relacionen con la amenaza sísmica. Se concibe que la aplicación de un diseño sismorresistente en una ciudad (un cambio en uno de los factores de vulnerabilidad) puede significar pasar de la función de vulnerabilidad “más vulnerable” al caso “menos vulnerable” de la Figura 2. Usualmente, los costos de elaboración, implementación y control de la aplicación de las regulaciones sísmicas serían menores que la cantidad ahorrada al reducir la vulnerabilidad, por lo que el mejoramiento de las prácticas de diseño podría ser una decisión acertada también desde el punto de vista económico.

Como se puede observar,  $V(I; \phi)$  está relacionada con el daño *esperado*, es decir, con el valor esperado (en el sentido probabilista) del daño. Debido a las incertidumbres involucradas, no es posible predecir de forma determinista el daño resultante de un evento para una intensidad determinada. Por lo tanto, se intenta predecir el daño esperado

utilizando  $V(I; \phi)$ , sin dejar de tener en cuenta que existen incertidumbres que no pueden ser despreciadas. Existen, obviamente, formas probabilistas rigurosas para considerar estas incertidumbres. Una forma de resolver este problema es encontrando un factor, que se denomina  $K$  (ver ecuación 3), que relaciona el valor de la pérdida teniendo en cuenta la incertidumbre y los valores de la pérdida obtenidos sin considerar esta incertidumbre. El factor  $K$  depende de varias cosas: la incertidumbre en la relación de vulnerabilidad, la forma de la curva de tasas de excedencia de la intensidad y el periodo de retorno (IDEA, 2005; Rosenblueth, 1981). Se ha encontrado que, bajo ciertas hipótesis razonables, un factor de  $K = 1.2 \sim 1.3$  es factible para los objetivos de esta evaluación<sup>9</sup>. Las funciones de vulnerabilidad se pueden expresar analíticamente utilizando la ecuación (10):

$$V(I) = 1 - \exp \left\{ \ln 0.5 \left( \frac{I}{\gamma} \right)^\alpha \right\} \quad (10)$$

donde  $\alpha$  y  $\gamma$  son parámetros que definen la forma de la función. La Tabla 1 muestra algunos valores de  $\alpha$  y  $\gamma$  para algunas construcciones (Ordaz y Santa-Cruz, 2003):

**Tabla 1: Parámetros para algunas funciones de vulnerabilidad.**

| Clase de Construcción          | $\alpha$ | $\gamma$ |
|--------------------------------|----------|----------|
| Mampostería no reforzada       | 5.0      | 0.25     |
| Mampostería confinada          | 5.5      | 0.50     |
| Pórticos de concreto reforzado | 3.0      | 0.40     |

Hasta aquí, el análisis se ha limitado a la estimación de pérdidas en ciudades o regiones de un tamaño geográfico limitado, utilizando una serie de curvas de vulnerabilidad definidas con criterio de expertos para los países evaluados y utilizando un “proxy” de área construida con base en la población de las ciudades y estadísticas del tipo de construcciones de cada país. La clave para la definición de “tamaño geográfico limitado” es la hipótesis de que todo dentro de la ciudad se afecta simultáneamente por el evento considerado. En la realidad, el daño durante los desastres varía, algunas veces, ampliamente, incluso dentro de la ciudad, por eso, la hipótesis difícilmente se sostiene. De todas maneras, el supuesto se tiene que hacer con fines de simplificación. Sin embargo, en el caso de extensas regiones, conformadas por diversas ciudades, tal vez cientos de kilómetros separadas una de las otras, sería extremadamente conservador asumir que todo se afecta en forma simultánea. En ese caso, es necesario obtener maneras de combinar los estimativos de pérdida calculados para cada ciudad con el fin de obtener un valor combinado razonable para todo el país. A estas reglas se les denomina las reglas de agregación. IDEA (2005) presenta detalles de las relaciones matemáticas entre las tasas de excedencia y otras medidas interesantes y útiles del riesgo; las formas probabilistas rigurosas para la incertidumbre de la vulnerabilidad y la obtención de las reglas de agregación de pérdidas propuesta.

## RECURSOS POTENCIALMENTE DISPONIBLES

La resiliencia económica (el denominador del índice) representa los posibles fondos internos y externos que frente al daño el gobierno, como responsable de la recuperación o propietario de los bienes afectados, puede acceder en el momento de la evaluación. Sin embargo, el acceso a dichos fondos tiene restricciones y costos asociados que se deben tener en cuenta. En este estudio se consideran siete factores:

- $F_I^P$ , que corresponde a los *pagos de seguros y reaseguros* que aproximadamente recibiría el país por los bienes y la infraestructura asegurada del gobierno. El seguro en los países en desarrollo es apenas una industria incipiente por lo cual se puede afirmar que no existe una cultura del seguro. La mayoría de los pagos realizados en eventos anteriores por las compañías de seguros han sido al sector privado, en particular a las grandes industrias. En varios países es obligatorio asegurar los inmuebles públicos, sin embargo este requerimiento legal no se cumple a

<sup>9</sup> Si un factor constante  $K=1.2$  es utilizado en todos los países, ciudades y tipos de amenaza entonces se vuelve irrelevante para propósitos de comparación. Sin embargo, es preferible tratar con  $K$  explícitamente por dos razones. La primera, por su naturaleza simbólica: ayuda a mantener en mente que el proceso de estimación es incierto y que se debe considerar la incertidumbre de una manera formal. Segundo, porque tal como se definió, las estimaciones de pérdida tienen un claro significado: son pérdidas económicas medidas en unidades monetarias. Por lo tanto, su escala es relevante.

cabalidad, en particular por las entidades territoriales o gobiernos locales descentralizados. Una manera sencilla para estimar el valor de la riqueza física asegurada podría ser el gasto en seguros como proporción del PIB. Por ejemplo, si este equivale al 2% del PIB, quiere decir que el 2% de las pérdidas serán cubiertas por las compañías aseguradoras.

- $F_2^P$ , corresponde a las *reservas disponibles en fondos para desastres* con los que cuenta el país en el año de la evaluación. En varios países existen fondos de calamidades o de desastres formalmente establecidos que cuentan con un presupuesto anual y en ocasiones con reservas acumuladas de años anteriores. En varios países hay un fondo principal y hay otros sectoriales que se encuentran en diferentes instituciones o ministerios, como obras públicas e infraestructura, salud, defensa civil, entre otros, o existen fondos descentralizados a nivel de entidades territoriales. Este valor debe estimarse como la suma de las reservas disponibles de la nación y de las posibles zonas afectadas.
- $F_3^P$ , representa los valores que pueden recibirse como *ayudas y donaciones*, tanto públicas como privadas, nacionales como internacionales. Usualmente las ayudas del exterior están dirigidas a apoyar la respuesta a la emergencia y se reciben pocos recursos para las fases de rehabilitación y reconstrucción. Después de ocurrido un evento notable se reciben, en su mayoría, alimentos y vestuario, menajes, carpas y equipos, y poco se recibe directamente en dinero. Aunque no existe información detallada de los apoyos recibidos de gobiernos amigos, ONGs y agencias de ayuda humanitaria y de cooperación técnica, para estimar este valor es necesario hacer una evaluación aproximada y realista de dicha ayuda como un porcentaje de la pérdida en eventos anteriores.
- $F_4^P$ , corresponde al valor posible de *nuevos impuestos* que cada país podría recaudar adicionalmente en caso de un desastre mayor. Existen experiencias que indican que como resultado de un desastre se han establecido impuestos del 2 y hasta el 3 por mil a las operaciones financieras y bancarias, pero este tipo de impuestos puede estimular la contención y el traslado de ahorros hacia el exterior. En general existen serias dudas de que en ciertos países se puedan aumentar los ingresos del gobierno mediante nuevos impuestos debido a la impopularidad de este tipo de medidas. Este valor se debe estimar de acuerdo con su factibilidad política en cada país de acuerdo con la figura financiera posible que pueda considerarse en cada caso.
- $F_5^P$ , es la estimación del *margen de reasignación presupuestal* que tiene cada país. Este valor en países donde existen limitaciones o constitucionales de planificación presupuestal usualmente corresponde al margen de gastos discrecionales del gobierno. En algunos países este valor depende de la decisión política de las autoridades competentes de turno, sin embargo existen restricciones que impiden reasignaciones mayores debido a las inevitables obligaciones del gasto público, como los salarios, las transferencias, el gasto social y el servicio de la deuda. Igualmente pueden existir obligaciones acumuladas de vigencias presupuestales anteriores. Se puede incluir aquí también la reasignación o desvío de préstamos aún no ejecutados de los organismos multilaterales. De no obtenerse con mayor precisión el posible margen de reasignación presupuestal se puede estimar de manera muy aproximada como el 60% de las inversiones en bienes de capital en porcentaje del PIB.
- $F_6^P$ , corresponde al valor factible de *crédito externo* que puede obtener el país con los organismos multilaterales y en el mercado de capitales en el exterior. Las condiciones de préstamo con los organismos multilaterales son en general más favorables, pero están restringidos al grado de sostenibilidad de la deuda externa y la relación entre el servicio de la deuda y las exportaciones. Las tasas de interés, en general, dependen del ingreso per cápita de los países. El acceso a créditos en el mercado internacional de capitales depende de las calificaciones internas y externas de riesgo financiero del país, lo que determina las primas de riesgo y las tasas comerciales de los títulos de deuda. En cualquier caso, acceder a crédito externo significa aumentar las obligaciones del servicio de la deuda en el futuro y la reducción del cupo del país para asumir nuevas deudas. Por lo tanto, el valor de crédito externo máximo se debe estimar con base en el análisis de las obligaciones y limitaciones que tiene el gobierno.
- $F_7^P$ , representa el *crédito interno* que puede obtener el país con los bancos comerciales y en algunos casos con el banco central, cuando es legal obtener préstamos del mismo, significando liquidez inmediata. También, en algunos casos es factible obtener recursos de las reservas internacionales en caso de presentarse un desastre mayor, aunque este tipo de operación es problemática en general y puede significar un riesgo para la balanza de pagos. El crédito con los bancos comerciales también tiene limitaciones y costos y depende de la actividad de los mercados de crédito locales; en general puede ser escaso. En mercados débiles un crédito importante puede afectar el consumo interno, las inversiones locales y la tasa de interés. El crédito adicional disponible se debe estimar teniendo en cuenta la capacidad del país de devolver el préstamo y la capacidad del mercado de capitales en el país.

El IDEA (2005) presenta un método para estimar los impuestos en transacciones financieras. Adicionalmente presenta un modelo para calcular la situación financiera externa de un país y el acceso a crédito interno. Es importante indicar que esta estimación es propuesta considerando las restricciones o valores factibles en cada caso y sin considerar los posibles costos asociados por acceder a algunos de estos fondos y costos de oportunidad que pueden ser importantes.

## RESULTADOS DE APLICACIÓN EN LAS AMÉRICAS

En general, la mayoría de los países han presentado a lo largo de las dos últimas décadas un alto nivel de incapacidad para afrontar sus pérdidas potenciales en caso de un evento extremo, incluso para eventos de períodos de retorno de 50 y 100 años. Aunque la situación para la mayoría de los países en los años 80 y principios de los 90 era más crítica (el *IDD* llegó a estar por encima de 6.0), la situación actual es preocupante dado el aumento de las pérdidas potenciales y la baja resiliencia económica de la mayoría de los países. En el 2000 todos los países presentan un *IDD* mayor que 1.0 excepto Costa Rica (CRI). La situación más crítica se puede ver en Bolivia (BOL), Colombia (COL) y República Dominicana (DOM) que presentan un *IDD* mayor a 5.0. Lo siguen de cerca Perú (PER), Ecuador (ECU), Nicaragua (NIC) y Jamaica (JAM) con un *IDD* mayor a 4.0.

La Figura 3, a la izquierda, presenta el *IDD* para el año 2000 calculado para el EMC de 500 años de período de retorno (probabilidad del 2% de ocurrencia en 10 años). A la derecha, se presenta la pérdida máxima *L* para el gobierno durante ese mismo período. La responsabilidad del gobierno se cuantificó como la suma de pérdidas de las edificaciones del sector público y sobre la vivienda de los estratos de menores ingresos de la población. Las situaciones más críticas son las de Bolivia con un *IDD* de 5.7 y Colombia con un *IDD* de 5.4. Aunque Bolivia tendría que afrontar una pérdida de US\$ 2,800 millones, sería siete veces menor que Colombia que tendría que afrontar una pérdida de US\$ 20,170 millones. La baja capacidad económica de Bolivia para recuperarse de eventos extremos es una explicación de esta situación.

La Figura 4, a la izquierda presenta el *IDD'*<sub>GC</sub> para el año 2000. A la derecha, se presenta el valor de la pérdida anual esperada *L<sub>y</sub>* para el gobierno. El Salvador presenta el valor mayor del *IDD'*<sub>GC</sub> en relación con los gastos de capital. El pago anual de sus desastres futuros significaría el 32% de dichas inversiones. Le sigue Trinidad y Tobago (TTO) con el 9.22%. Sólo cinco países tendrían valores de pérdida anual por debajo del 5% de su presupuesto de inversión (gastos de capital de activos fijos).

El Índice de Déficit de Desastres es un “proxy” del riesgo. Basados en las evaluaciones del año 2000, Colombia, México y Perú presentan niveles de riesgo de desastres extremos significativos. Estos países presentan la probabilidad de sufrir pérdidas significativas en caso de eventos de baja probabilidad y de altas consecuencias. El Salvador, Ecuador y República Dominicana también presentan pérdidas relativamente altas; Chile y Jamaica se encuentran en el rango medio. Colombia y Perú tienen una resiliencia económica relativamente baja para obtener asistencia para la reconstrucción, mientras que México aunque podría sufrir grandes pérdidas, su resiliencia económica es relativamente alta. Costa Rica, Argentina, Guatemala y Chile tienen perfiles de riesgo relativamente menores para eventos extremos, pero esto no significa que el riesgo sea bajo. En estos países no se esperan pérdidas de gran escala, y su capacidad para manejar estas pérdidas son relativamente buenas. En general, el riesgo asociado con eventos extremos ha aumentado con el tiempo en todos los países. Esta aplicación indica que los países de América Latina y el Caribe presentan un riesgo significativo que aparentemente no ha sido percibido en su verdadera dimensión por los ciudadanos, los tomadores de decisiones y la sociedad en general. Estos indicadores son un primer paso en el propósito de medir y comunicar el riesgo de una manera apropiada, para lograr que se perciba como un problema que amerita ser tenido en cuenta dentro de las actividades de desarrollo. Una vez que el riesgo ha sido identificado y valorado, se pueden implementar actividades para reducirlo y controlarlo. El primer paso para manejar el riesgo es reconocerlo como un problema socioeconómico y medioambiental importante.

El enfoque propuesto aquí es fundamentalmente un modelo probabilista de riesgo similar a los que se utilizan con fines de transferencia y retención de pérdidas. Debido a esto, se diferencia sustancialmente del método que se empleó para estimar el Índice de Riesgo de Desastre, IRD, del PNUD (2004), en el proyecto Hot Spots de riesgo del World Bank (2004) y en la mayoría de los modelos propuestos para estimar el impacto de desastres en el crecimiento económico. Se optó por este enfoque debido a las serias controversias teóricas que todavía existen en términos de si los desastres causan o no un impacto significativo en el desarrollo económico. De acuerdo con los resultados obtenidos por Albala-Bertrand (1993 y 2002) los desastres usualmente afectan los capitales menos productivos y el trabajo menos calificado; por lo que causan profundas consecuencias. Benson (2003) la CEPAL (2003), Freeman et al.

(2002a) entre otros, argumentan que en el largo plazo estos impactos pueden ser importantes para ciertas economías. El IDEA presenta un enfoque analítico del crecimiento y desastres. Esto concluye que los desastres podrían reducir el nivel de ahorro de la sociedad y por lo tanto la cantidad de capital y del producto por persona en el estado estacionario; por ejemplo, los desastres recurrentes y aleatorios afectan el ingreso per capita y las tasas de crecimiento a largo plazo.

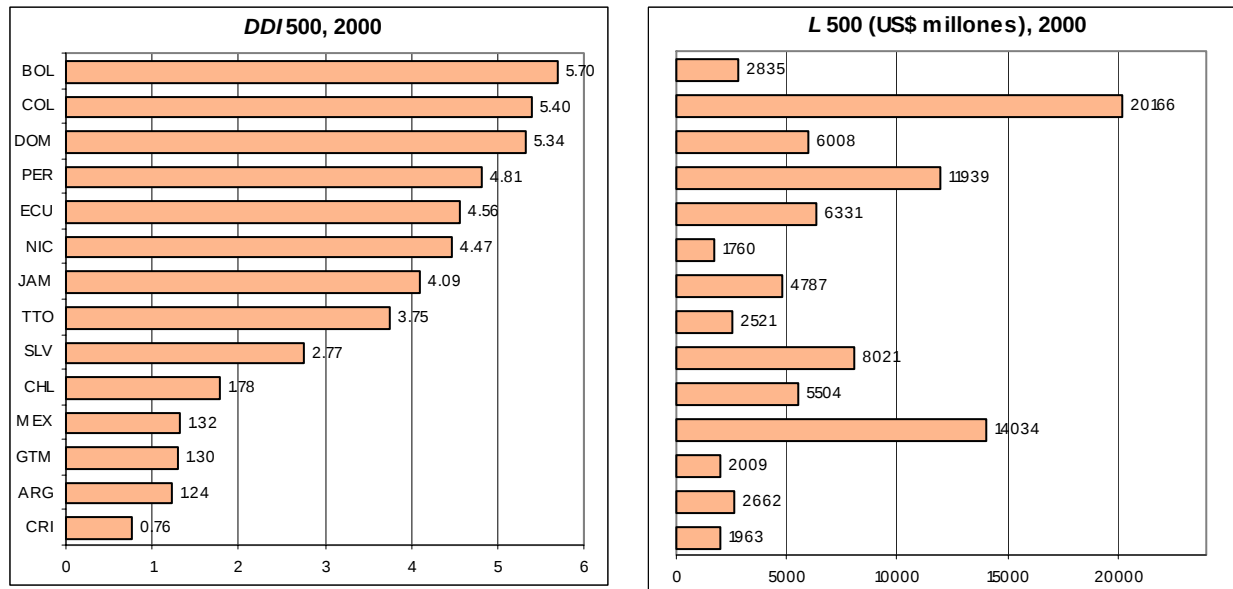


Figura 3: IDD y pérdida máxima probable  $L$  en 500 años

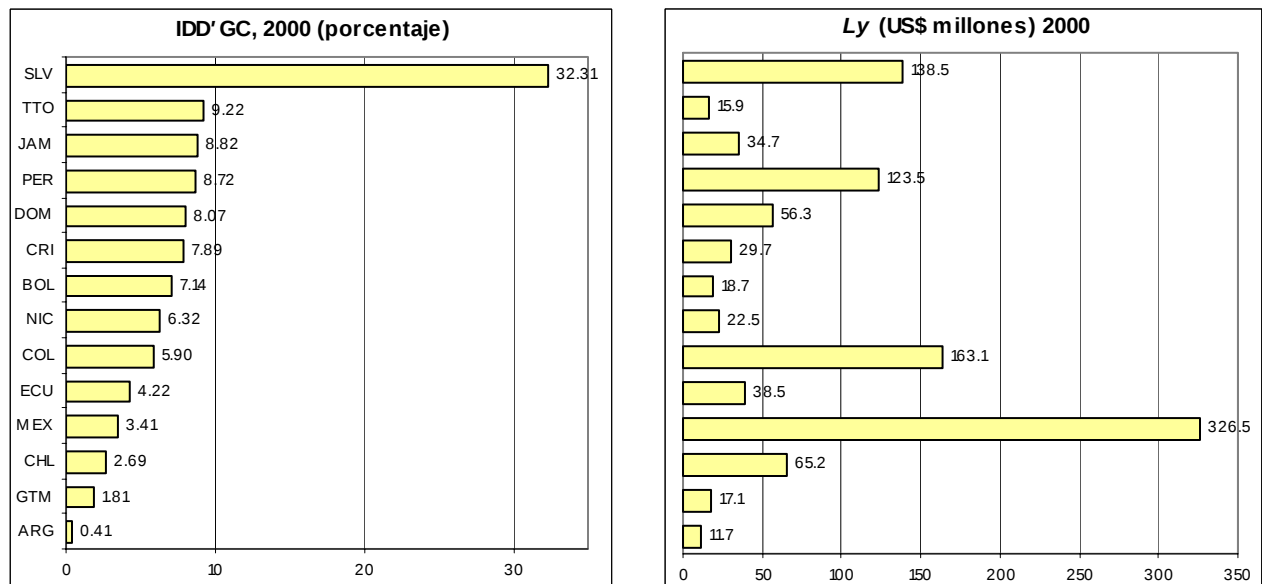


Figura 4.  $IDD'_{GC}$  y pérdida anual esperada  $L_y$

## REFERENCIAS

- Albala-Bertrand, J. M. (1993). "Natural disaster situations and growth: a macroeconomic model for sudden disasters impacts", *World Development*, Vol. 21, No. 9, pp. 1417-1434.
- Albala-Bertrand, J. M (2002). "Urban disasters and globalization", *The Future of Disaster Risk: Building Safer Cities*, Conference organized by the ProVention Consortium. DMF, World Bank. Disponible en: [http://www.proventionconsortium.org/conferences/washington\\_agenda.htm](http://www.proventionconsortium.org/conferences/washington_agenda.htm).
- ASTM (1999). *Standard Guide for the Estimation of Building Damageability in Earthquakes*, E 2026-99.
- Benson, C. (2003). *The Economy-wide Impact of Natural Disasters in Developing Countries*, London University, United Kingdom.
- Cardona, O. D. (2005). "Indicadores de Riesgo y Gestión de Riesgo: Programa para América Latina y el Caribe", Informe Resumen, Programa BID/IDEA de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Disponible en: <http://idea.unalmzl.edu.co>
- Cardona, O. D., Ordaz, M. G., Yamin, L. E., Marulanda, M. C. y Barbat, A.H. (2008). "Earthquake loss assessment for integrated disaster risk management", *Journal of Earthquake Engineering*, Special Issue, (in press).
- Carreño, M. L, Cardona, O. D. y Barbat, A. H. (2005). "Sistema de indicadores para la evaluación de riesgos", Monografía CIMNE IS-52, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- CEPAL (2003). *Manual para la estimación de los efectos socio-económicos y ambientales de los desastres*, Comisión económica para América Latina y el Caribe y el Banco Mundial, cuatro volúmenes, Washington, D.C.
- Esteva, L. (1970). "Regionalización sísmica de México para fines de ingeniería", Serie Azul 246, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Freeman, P. K., Martin, L. A., Mechler, R., y Warner, K. (2002a). "Catastrophes and Development: Integrating Natural Catastrophes into Development Planning", *Disaster Risk Management*, Working Paper Series No. 4. World Bank, Washington, D.C.
- Freeman, P. K., Martin, L. A., Linneroot-Bayer, J., Mechler, R., Pflug G. y Warner, K. (2002b). *Disaster Risk Management: National Systems for the Comprehensive Management of Disaster Financial Strategies for Natural Disaster Reconstruction*, SDD/IRPD, Regional Policy Dialogue, Inter-American Development Bank, IDB, Washington, D.C.
- IDEA (2005). "Sistema de indicadores para la gestión del riesgo de desastre: Informe técnico principal", Programa BID/IDEA de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Disponible en: <http://idea.unalmzl.edu.co>
- Istituto Nazionale di Geofisica, (1999). "The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP)", *Annali di Geofisica*, Vol. 41, 6 (Diciembre), Roma, Italia.
- Ordaz, M. y Santa-Cruz, S. (2003). "Computation of physical damage to property due to natural hazard events", IDB/IDEA Program of Indicators for Risk Management, National University of Colombia, Manizales. Disponible en: <http://idea.unalmzl.edu.co>.
- PNUD (2004). *Reducing disaster risk: a challenge for development. A Global Report*, Chapter 2, International Patterns of Risk, The Disaster Risk Index, DRI, Geneva. Disponible en: <http://www.undp.org/bcpr/disred/rdr.htm>.
- Rosenblueth, E. (1981). "Two point estimates in probabilities", *Applied Mathematical Modeling*, Vol. 5, pp. 329-335.
- World Bank (2004), "Identification of global natural disaster risk hotspots", Center for Hazard and Risk Research at Columbia University, New York City, New York.