

destruidas y viviendas afectadas) por ocurrencia de eventos, podemos distinguir entre niveles de incidencia de daños para las principales categorías⁸ (Cuadro 9).

Cuadro 9. Niveles de Incidencia de daños

EVENTO	TASA	NIVEL
Sismo	57.08	ALTO
Inundación	6.21	MEDIANO
Vendaval	3.14	MEDIANO
Deslizamiento	1.12	MEDIANO
Erupción	0.06	BAJO
Incendios Forestales.	0.04	BAJO

Los sismos tienen un nivel de incidencia significativamente más alto que el resto de las categorías. Las inundaciones, los deslizamientos y los vendavales están en un rango mediano, y los incendios forestales y erupción presentan los niveles más bajos. Podemos considerar al resto de las categorías de eventos, que no están representadas en las variables muertos, viviendas destruidas y viviendas afectadas, como categorías de baja incidencia (como sequías).

En función de sus frecuencias de ocurrencia anual y sus niveles de incidencia para el período estudiado podemos reclasificar las categorías de eventos de la siguiente manera:

- Eventos de alta incidencia de daños y baja frecuencia de ocurrencia: sismos
- Eventos de mediana incidencia de daños y alta frecuencia de ocurrencia: inundaciones, deslizamientos y vendavales.
- Eventos de baja incidencia de daños y alta frecuencia de ocurrencia: incendios forestales.
- Eventos de baja incidencia de daños y baja frecuencia de ocurrencia: erupciones, tempestad, marejada, ola de calor, sequía y granizada.

El caso de las erupciones volcánicas es especial, pues la escala temporal de dos décadas que nos impone la cobertura de datos de DesInventar no permite analizar fenómenos cuyos patrones de ocurrencia temporal incluyen períodos muy largos, de orden geológico. De tener un análisis para un período de tiempo mayor, probablemente las erupciones caerían dentro de la misma categoría que los sismos: eventos de alta incidencia y baja frecuencia de ocurrencia. Si bien el terremoto Limón-Bocas del Toro cae dentro de nuestro período de análisis, es necesario destacar que su período de recurrencia estimado es de 200 años.

⁸ No se incluyeron en este análisis las categorías con menos de 10 ocurrencias en todo el período de estudio (tempestad; marejada; ola de calor; granizada).

La metodología de índices de riesgo manifiesto

El análisis de ocurrencia y efectos de daños por eventos que nos permite desarrollar DesInventar es muy rico y arroja luz sobre las peculiaridades asociadas a distintas tipologías de amenazas naturales y la especificidad de sus efectos negativos. Pero es el análisis espacial es el que nos permite a identificar “donde y para quienes” el riesgo se ha hecho manifiesto. Los datos de daño están georreferenciados con arreglo a la división jurídico administrativa de Costa Rica, desde el nivel menor representado por las provincias, el nivel intermedio por los cantones, y el nivel de mayor resolución por los distritos⁹. Un porcentaje de los registros de eventos llega al nivel de lugar, aunque no existe una cobertura uniforme a este nivel.

La fragmentación del estudio de los daños en sus distintas variables constituye una ventaja para el análisis detallado de cada evento, pero también representa una dificultad para la identificación de grandes patrones espaciales de daño. Podemos mapear múltiples variables por separado, pero el análisis sintético en términos de riesgo sería quizás más complejo que el realizado para los eventos y sus efectos. Si uno de los objetivos básicos de la evaluación de riesgos es su expresión espacial en un mapa ¿cuál es la variable del daño más apropiada para ejemplificarlo? Antes hemos utilizado los muertos, viviendas destruidas y viviendas afectadas como expresiones selectas del daño. Si pensamos desde el punto de vista de las pérdidas, la mayor expresión del riesgo consumado está representado por los muertos. Pero si pensamos desde el punto de vista de la vulnerabilidad como capacidad de recuperación, las viviendas destruidas o los heridos representan un gran segmento en la configuración del riesgo. ¿Cómo combinar estas variables en un indicador que refleje todas las facetas que puede asumir el daño, y por lo tanto el riesgo manifiesto?

La generación de los índices de riesgo manifiesto

Partiendo del análisis realizado en el primer capítulo, donde establecemos que el daño es la evidencia empírica del riesgo, podemos definir al índice de riesgo manifiesto (IRm), como una combinación algebraica específica de variables del daño incluidas en DesInventar, que nos permite caracterizar una unidad de resolución determinada (Provincia, Cantón o Distrito) según su nivel de riesgo manifiesto. De esta manera, se estaría apelando a una metodología híbrida para la evaluación del riesgo, deduciendo patrones de riesgo a partir de evidencia empírica expresada en el daño, e infiriendo distintos niveles del riesgo, a partir de una combinación de las distintas formas en que representamos ese daño.

Para la generación de indicadores de riesgo manifiesto se siguieron dos etapas: 1) elección de las variables del daño que entraran en la fórmula para generar el indicador de riesgo manifiesto; y 2) generación de una metodología para combinar algebraicamente esas variables en la fórmula del indicador de riesgo manifiesto; obtención de los indicadores.

⁹ En el caso de la categoría sismos, la información disponible sobre el terremoto de Limón existe a nivel cantonal, por lo cual en este caso el nivel distrital no está considerado

El espectro de variables que utiliza DesInventar para representar las pérdidas o el daño es amplio. Desde el punto de vista de la construcción de un indicador de riesgo manifiesto, estamos interesados en aquellas variables más consistentes y confiables. También estamos limitados a incorporar variables cuantitativas, que nos permitan manipularlas algebraicamente. Eso nos enfoca principalmente en los efectos sobre la vida humana y sobre la vivienda, que son todas variables numéricas en DesInventar. Entre este grupo, existen variables que son muy consistentes desde el punto de vista de la uniformidad de criterios a la hora de generar las estadísticas. Por ejemplo, el número de muertos es un dato generalmente consolidado a partir de fuentes oficiales, y existe la evidencia física para corroborarlo. Por otro lado, la muerte debe estar necesariamente en una evaluación de riesgos como la expresión máxima que este puede asumir. Los heridos o enfermos, es otra de las variables de DesInventar que podríamos considerar como confiable, ya que estas estadísticas provienen en general de Centros de Salud; por otro lado, el estado de herido o enfermo no solo implica pérdida económica por gastos de salud, también implica, según el caso, capacidad disminuida para recuperarse del desastre. Las viviendas destruidas y viviendas afectadas son variables claves en la explicación del daño, ya que representan en muchos casos la unidad familiar de análisis, y son al igual que los muertos, variables consistentes y confiables desde el punto de vista del relevamiento de la información.

Por el contrario, algunas variables que incluye DesInventar (como damnificados y afectados) son más relativas, puesto que dependen en gran medida de la cobertura informativa del evento y de los criterios que se utilizan para distinguir entre ambas categorías. En el caso particular de los damnificados, en base a la definición que utiliza DesInventar, se incluye también a aquellos heridos y enfermos, o quienes han perdido su vivienda; por lo tanto, se estaría haciendo doble contabilidad, si incluimos viviendas destruidas o afectadas, o enfermos y heridos en el índice de riesgo manifiesto. Desaparecidos es un estado temporal, en la mayoría de los casos, ya que pasado el contexto inmediato del desastre, pasan a engrosar las cifras de muertos o de damnificados. Evacuados es una variable especial. Sufren pérdidas importantes, pues ven en primer lugar alterado su ritmo de vida, en algunos casos perdiendo días de trabajo, de asistencia a la escuela, etc.; pero también el número de evacuados, en muchos casos, refleja una gestión del riesgo apropiada, sistemas de alerta temprana efectivos y/o una organización comunitaria importante. De allí que a “riesgo” de ser conservadores en el análisis, las variables a contemplar en el índice de riesgo manifiesto serían: (a) muertos, (b) heridos o enfermos, (c) viviendas destruidas, y (d) viviendas afectadas.

Existe la presunción de que la utilización de fórmulas y algoritmos complejos en la formulación de índices o estimadores, les confiere un aura de mayor objetivismo científico. En algunos casos se hace tan compleja la metodología, que los interesados en el producto analítico final, eventualmente aceptan la metodología como válida, sin mayores consideraciones. Esto es muy evidente en la utilización masiva de los SIG, que gozan de este aura de alta tecnología y objetivismo (Maskrey, 1996). En el caso de la evaluación de riesgos, un compromiso entre metodologías sencillas, que puedan ser interpretadas por un grueso de los lectores y usuarios potenciales del producto final, pero con un grado mínimo de complejidad que necesariamente refleje la misma complejidad conceptual del riesgo, sería el enfoque a privilegiar en la generación del índice de riesgo manifiesto. Las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC), que permiten la

medición de un parámetro en función de varios criterios, ofrecen una buena alternativa para obtención del “IRm”. Voodg (1983) define el objetivo básico de las técnicas EMC como: “...investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto”. En función de estas técnicas es posible generar soluciones compromiso y jerarquizaciones de las alternativas de acuerdo a su grado de atracción (Janssen y Rietveld, 1990:129). Existen varios antecedentes de aplicaciones integrando SIG y EMC (ver Barredo, 1993, 1994, 1995; Barredo y Bosque, 1995; Can, 1993; Carver, 1991; Eastman et al; 1993). La EMC basa su funcionamiento en la evaluación de una serie de criterios que se han reconocido a priori como relevantes en el problema a evaluar. En nuestro caso, estamos evaluando el riesgo manifiesto a partir de cuatro criterios: muertos, heridos o enfermos, viviendas destruidas y viviendas afectadas. Para la evaluación de estos criterios se construye una matriz (Cuadro 10), que recibe distintos nombres: matriz de puntuaciones, matriz de efectividad, matriz de proyecto-efecto, o bien matriz de evaluación (Barredo, 1996:51).

El aspecto clave de las técnicas de EMC es la asignación de una importancia relativa para cada criterio frente al tipo de evaluación que pretendemos realizar. En nuestro caso, la relevancia relativa del número de muertos no puede ser la misma que la de los heridos o enfermos, ni esta última debe tener el mismo peso que el número de viviendas destruidas. Este valor relativo recibe el nombre de peso o ponderación (w_j) cuando se expresa cuantitativamente, y jerarquía cuando se realiza de modo cualitativo u ordinal (Saaty, 1977; Voogd, 1983). Este es también un aspecto metodológico clave, pues es muy común

Cuadro 10. Matriz de Evaluación

	Distrito 1	Distrito 2	Distrito 3	Distrito 4	Distrito “n”
Muertos	X_{1j}				
Heridos o enfermos		X_{22}			
Viviendas destruidas			X_{33}		
Viviendas afectadas					X_{4n}

que a datos que están originalmente en una escala ordinal (cuantitativa) se les asigne sin mayor análisis, una escala nominal (cualitativa), traspasando la frontera entre datos cualitativos y cuantitativos de una manera poco analítica o razonada. En este caso, para obtener los **coeficientes de ponderación**, utilizaremos el comando *Weight* de *IDRISI* (Eastman, 1993), donde los pesos asignados a cada criterio se obtienen por un procedimiento matemático de comparación entre pares de variables (criterios en este caso), en el cual se establece la importancia relativa de los criterios, que se obtienen del eigenvector principal de la matriz. Para llevar a cabo este procedimiento, debemos construir una matriz donde confrontamos criterio contra criterio,

estableciendo una valoración relativa entre ellos, en base a una escala de 9 puntos incorporada en *Idrisi*. Estableciendo una jerarquía que identifica a los muertos como la mayor expresión del riesgo manifiesto, seguido en importancia por viviendas destruidas, muertos o heridos, y finalmente viviendas afectadas, se generó la siguiente matriz de pares de variables (Cuadro 11):

Cuadro 11. Matriz de Pares de Variables

	Muertos	Heridos o enfermos	Viviendas destruidas	Viviendas Afectadas
Muertos	1			
Heridos o enfermos	1/2	1		
Viviendas destruidas	3/4	1	1	
Viviendas afectadas	1/4	3/4	1/2	1

Los valores de cada celda de la matriz indican la valoración relativa de una variable (criterio) en la fila, con respecto a la variable correspondiente en la columna. Por ejemplo, si comparamos viviendas destruidas con muertos (tercera fila, primera columna de la matriz), estamos estableciendo que las viviendas destruidas tienen una importancia relativa levemente menor a la de los muertos (1/2). En cambio, las viviendas afectadas tienen una importancia significativamente menor a la de los muertos (1/4); Solo se completa la mitad inferior de la matriz diagonal, pues los valores son simétricos para la mitad superior.

En base a estas fracciones que se introducen en la matriz, el comando Weight calcula un índice de consistencia, que indica la probabilidad de que las jerarquías establecidas hayan sido aleatoriamente asignadas. Valores menores a 0.10 indican una buena consistencia. El índice de consistencia para los datos de la matriz fue de 0.03, lo cual indica un alto grado de consistencia que nos permite seguir con el proceso de cálculo de los coeficientes de ponderación. Los coeficientes obtenidos a través del comando Weight de *Idrisi* son los siguientes:

Muertos : 0.4832	Viviendas Destruidas: 0.3257
Heridos : 0.1149	Viviendas Afectadas : 0.0763

Para la generación final de la fórmula del índice de riesgo manifiesto, se apeló a una de las técnicas más usadas en la EMC: *la sumatoria lineal ponderada*. En este caso es la más adecuada, porque nos permite obtener un acumulado de daños ponderados en un período de tiempo

determinado, para un distrito, un cantón o una provincia en particular. De esta manera el cálculo del riesgo manifiesto para un distrito dado asumiría la siguiente fórmula:

$$IR_m = \sum W_j X_{ij}$$

Donde: IR_m = índice de riesgo manifiesto
 W_j = ponderación del criterio j
 X_{ij} = valor del evento i para el criterio j
 i = evento (inundación, deslizamiento, etc)
 n = número total de eventos para un distrito dado
 j = criterio (muertos, viviendas destruidas, etc.)

Incorporando los coeficientes ya obtenidos (para un distrito dado):

$$IR_m = 0.48 \text{ Muertos} + 0.11 \text{ Heridos} + 0.32 \text{ V.dest.} + 0.07 \text{ V.afect.}$$

Dado que tenemos distintas categorías de eventos seleccionadas, podemos también obtener un estimador de riesgo manifiesto por categoría a través de una sumatoria desagregada:

$$IR_{m_e} = \sum C_j X_{ij},$$

en donde X es el valor de pérdidas j (muertos, heridos, etc.) para cada uno de los eventos i que correspondan a una categoría determinada e (inundación, por ejemplo). En consecuencia, el índice de riesgo manifiesto total, puede ser calculado a partir de los índices por evento:

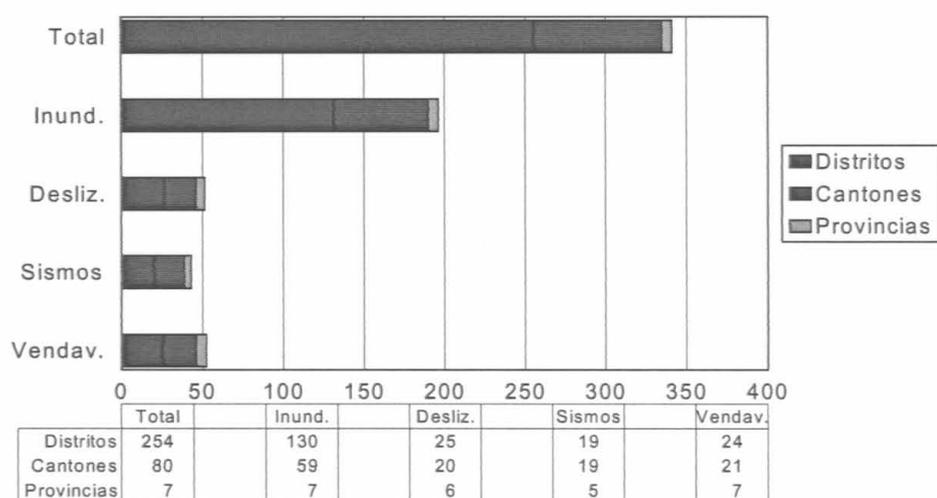
$$IR_{m \text{ total}} = \sum IR_{m_e}$$

Dado que el nivel máximo de resolución para los datos de DesInventar es el de distrito, estamos calculando los índices para ese nivel. La superficie de los distritos para Costa Rica es muy variable, especialmente los correspondientes al Gran Área Metropolitana (GAM), mucho más pequeños que para el resto del país. Podría incorporarse una variable que refleje esa variabilidad en el IR_m , por ejemplo el logaritmo del área en kilómetros cuadrados, como cociente en la fórmula del índice de riesgo manifiesto. Sin embargo, al relativizar el tamaño de los distritos también estaríamos relativizando la información que refleja el IR_m . En otras palabras, estaríamos uniformando los índices bajo criterios artificiales, que no ayudan a reflejar las condiciones de riesgo para ciertas comunidades o localidades. Otro factor importante de variabilidad en las unidades distritales, por ejemplo, es más fácil identificar, a partir del índice de riesgo de un distrito que posee una superficie grande, la localidad o comunidad que está reflejando ese nivel de riesgo manifiesto. Por el contrario, al dividir el índice de riesgo manifiesto para ese distrito por el área, se relativizaría demasiado las condiciones de riesgo para la localidad o comunidad que refleja el riesgo manifiesto en todo el distrito. De la misma manera, si introduyéramos un factor que relativizara la densidad poblacional para cada distrito, estaríamos sesgando el análisis de los

índices de riesgo manifiesto, al eliminar una de las presiones dinámicas que puede estar incidiendo en la generación de condiciones de vulnerabilidad, y por ende, en la interpretación de los valores de los índices.

La primera información sobre la distribución espacial de los daños por categorías podemos inferirla del número de distritos que están representados con valores distintos a 0 en los índices de riesgo manifiesto. La figura 18 muestra la distribución espacial por número de distritos, cantones y provincias para las principales categorías de eventos:

Fig. 18. Distribución por unidades jurídico-administrativas¹⁰



Las inundaciones tienen la distribución espacial más amplia en el territorio costarricense, con presencia en las siete provincias, en un 73.7% de los cantones, y un 51.1% de los distritos. Los vendavales también están presentes en las siete provincias, en un 26.2% de los cantones, y un 8.2% de los distritos. Los deslizamientos están presentes en seis de las siete provincias de Costa Rica, con representación en un 25% de los cantones, y un 9.8% de los distritos. Los sismos muestran la mayor concentración espacial, con presencia en cinco provincias, en un 23% de los cantones, y un 7.4% de los distritos.

Los valores de los índices de riesgo manifiesto obtenidos varían en sus rangos según las categorías de eventos. El Cuadro 12 muestra una descripción general de la distribución de los valores de riesgo manifiesto distritales para las distintas categorías:

¹⁰ Los datos de distritos para la categoría de sismos no incluyen el Terremoto de Limón.