

# **Sistema de indicadores para la evaluación de riesgos**

**M. L. Carreño**

**O. D. Cardona**

**A. H. Barbat**



## **Agradecimientos**

Los autores de esta monografía agradecen el soporte financiero al Banco Interamericano de Desarrollo, BID, Programa de Información e Indicadores sobre Gestión de Riesgos Indicadores para la Gestión de Riesgos (Operación ATN/JF-7907-RG) y al Ministerio de Educación y Ciencia de España, proyecto “Desarrollo y aplicación de procedimientos avanzados para la evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo sísmico de estructuras” – EVASIS – (REN2002-03365/RIES).



## Prefacio

El sistema de indicadores descrito en esta monografía ha sido el principal objetivo técnico del Componente II “Indicadores de Gestión de Riesgos”, operación ATN/JF-7907-RG del BID; proyecto coordinado por el Instituto de Estudios Ambientales, IDEA, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, dentro del programa regional sobre “Información e Indicadores de Riesgo y Gestión de Riesgos” para las Américas, promovido por el BID, la CEPAL y el IDEA entre marzo de 2003 y mayo de 2005.

La preparación del proyecto fue concebida por Caroline Clarke y Kari Keipi del Banco Interamericano de Desarrollo. Los aportes técnicos, orientación y asesoría en las diferentes fases del programa fueron realizados por el siguiente equipo de expertos internacionales: Allan Lavell, Alex H. Barbat, Ben Wisner, Lino Briguglio, Ian Davis, Terry Cannon, Charlotte Benson, Philippe Masure, Louise Comfort, Luis E. Yamín, Mario G. Ordaz y Giuseppe Munda. El programa se benefició con contribuciones de Neil A. Doherty y Andrew Maskrey. Se constituyeron grupos de trabajo en cuatro centros de excelencia académica en gestión de riesgos: el CIMNE/UPC en Barcelona, España; el Instituto de Ingeniería de la UNAM, en México; el CEDERI de la Universidad de los Andes en Bogotá; y el IDEA/UN en Manizales, Colombia. Los informes relacionados con el proyecto se encuentran en: <http://idea.unalmzl.edu.co>

A nivel urbano se desarrolló, desde una perspectiva holística, una evaluación integral del riesgo, utilizando indicadores “duros” y “blandos”, que permiten la comparación del riesgo entre áreas de una ciudad y entre ciudades. Este sistema de indicadores, que se aplicó en forma demostrativa a Bogotá, Colombia, fue desarrollado por Martha Liliana Carreño T. y Alex H. Barbat del grupo de trabajo del CIMNE/UPC, bajo la orientación técnica de Omar Darío Cardona A., director técnico del proyecto. El sistema de indicadores a nivel nacional y subnacional fue concebido por Omar Darío Cardona A., y contribuyeron a su desarrollo metodológico Mario G. Ordaz S., Sandra Santa-Cruz y Álvaro Martín Moreno R. (al *IDD*); Mabel Cristina Marulanda F. (al *IDL*), y Martha Liliana Carreño T. y Alex H. Barbat (al *IVP* y el *IGR*), quienes también realizaron la aplicación del sistema a nivel subnacional en forma demostrativa para los departamentos de Colombia. El sistema de indicadores fue aplicado a doce países de las Américas por Mabel Cristina Marulanda F., Dora Catalina Suárez O. y Juan Pablo Londoño del grupo de trabajo del IDEA/UN. La recolección de información técnica y de datos fue coordinada en los doce

países por: Antonio Arenas (El Salvador/Guatemala), Elizabeth Mansilla (México), Jorge Olarte (Perú), Jeannette Fernández (Ecuador), Laura Acquaviva (Argentina), Barbara Carby (Jamaica/Trinidad y Tobago), Rubén Boroschek (Chile) y Guillermo Pichardo (República Dominicana).

Para corregir las causas del riesgo mediante acciones de intervención de la vulnerabilidad y mediante el fortalecimiento de la capacidad de gestión del riesgo en todas sus modalidades y ámbitos, es necesario identificar y reconocer el riesgo existente y las posibilidades de generación de nuevos riesgos desde la perspectiva de los desastres naturales. Esto implica dimensionar o medir el riesgo y monitorearlo con el fin de determinar la efectividad y eficiencia de las medidas de intervención; sean estas tanto correctivas como prospectivas. La evaluación y seguimiento del riesgo es un paso ineludible para su reconocimiento por parte de los diversos actores sociales y los órganos de decisión responsables de la gestión. Es decir, es necesario hacer manifiesto el riesgo, socializarlo e identificar sus causas. En consecuencia, dicha evaluación y seguimiento debe realizarse utilizando herramientas apropiadas e idóneas que faciliten la comprensión del problema y orienten la toma de decisiones. El propósito del sistema de indicadores aquí descrito es dimensionar la vulnerabilidad y el riesgo, usando indicadores relativos, para facilitar a los tomadores de decisiones de cada país, región o ciudad tener acceso a información relevante que les permita identificar y proponer acciones efectivas de gestión del riesgo, considerando aspectos económicos, sociales, institucionales y técnicos. Este sistema de indicadores permite representar el riesgo y la gestión del riesgo a escala nacional, subnacional y urbano, facilitando la identificación de los aspectos esenciales que lo caracterizan desde una perspectiva económica y social, así como también comparar estos aspectos o el riesgo mismo de los diferentes países o unidades territoriales estudiadas.

Los indicadores propuestos se han concebido para efectos de medición y monitoreo en el tiempo y para la identificación de condiciones de inseguridad y sus causas, utilizando criterios relacionados con los grados de amenaza al que están expuestas las unidades territoriales y sus circunstancias socioeconómicas que influyen en su vulnerabilidad. El sistema de indicadores que aquí se describe se enmarca en un enfoque holístico de evaluación, que debido a su flexibilidad y posible compatibilidad con otros enfoques de evaluación específica, será con el tiempo cada vez más utilizado y aceptado como una de las mejores opciones para la representación de las situaciones de riesgo y de gestión del riesgo, debido a su naturaleza compleja e imprecisa. Su fortaleza está en la posibilidad de desagregar los resultados e identificar los factores hacia los cuales se deben orientar las acciones de gestión del riesgo, con el fin de valorar su efectividad. Su objetivo principal es estimular la toma de decisiones – es decir, que el concepto que lo subyace es el control– y no la evaluación precisa del riesgo que comúnmente se soporta en el concepto de verdad física.

Barcelona, mayo 2005

LOS AUTORES

## ÍNDICE

<b>1. VULNERABILIDAD Y RIESGO DESDE UNA PERSPECTIVA INTEGRAL .....</b>	<b>1</b>
1.1. MARCO CONCEPTUAL .....	1
1.2. RIESGO FÍSICO Y SU EVALUACIÓN .....	5
1.3. RIESGO DEL CONTEXTO.....	6
<b>2. EVALUACIÓN HOLÍSTICA DE RIESGOS EN CENTROS URBANOS 11</b>	
2.1. INTRODUCCIÓN .....	11
2.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO.....	12
2.3. EJEMPLOS DE APLICACIÓN .....	20
2.3.1 Riesgo sísmico de Bogotá D.C., Colombia .....	20
2.3.2 Riesgo sísmico de Barcelona, España.....	30
2.3.3 Comparación de resultados.....	35
<b>3. EVALUACIÓN DEL RIESGO UTILIZANDO INDICADORES .....</b>	<b>37</b>
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO.....	37
3.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PREVALENTE, <i>IVP</i> .....	39
3.2.1 Indicadores de exposición y susceptibilidad.....	41
3.2.2 Indicadores de fragilidad socio-económica .....	43
3.2.3 Indicadores de falta de resiliencia.....	45
3.3. ÍNDICE DE DESASTRES LOCALES, <i>IDL</i> .....	47
3.4. ÍNDICE DE DÉFICIT POR DESASTRE, <i>IDD</i> .....	50
3.5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN .....	56
3.5.1 Evaluación a nivel nacional: Colombia .....	56
3.5.2 Comparación entre diferentes países de América Latina y el Caribe	61
3.5.3 Evaluación a nivel subnacional: Departamentos de Colombia.....	74
<b>ANEXO A – PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO Y PESOS PARA LA EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO B – VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS A NIVEL SUB-NACIONAL.....</b>	<b>119</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>151</b>





# 1. VULNERABILIDAD Y RIESGO DESDE UNA PERSPECTIVA INTEGRAL

## 1.1. MARCO CONCEPTUAL

El análisis de riesgo y los conceptos de seguridad y confiabilidad, sin duda, han sido aportes notables de la ingeniería al estudio de la probabilidad de fallo de un sistema. Las técnicas de convolución probabilista, los árboles de fallo y la modelización estocástica han sido utilizados para estudiar problemas complejos donde existe la interacción de múltiples componentes. Este tipo de enfoques sumados a los conceptos de fuentes, parámetros y modelos de incertidumbre, han contribuido al entendimiento del riesgo desde una perspectiva cuantitativa. A este enfoque algunos le han llamado análisis de riesgo objetivo. Muchos estudios de amenaza se han podido realizar utilizando el análisis probabilista, lo que ha permitido respaldar estimaciones que de otra forma podrían calificarse como simples especulaciones o apreciaciones.

Antes de revisar aspectos como la evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo, es necesario hacer claridad acerca del uso de la palabra “riesgo”, la cual en muchos casos se ha utilizado como sinónimo de “probabilidad”. Para algunos ingenieros y expertos en estadística, la palabra riesgo no es más que otra forma de referirse a la probabilidad de ocurrencia de un suceso. Por ejemplo, cuando se afirma que “el riesgo (*i.e.* la probabilidad de ocurrencia) de tormenta es del 20%”. Pero para la mayoría de la gente un suceso tiene otro significado que causa preocupación: la posibilidad de daño o efectos adversos (Stewart y Melchers 1997). Es decir, tiene más bien la connotación de “estar en riesgo”, o sea, de consecuencias, que es la manera como se interpreta desde el punto de vista de la industria del seguro. Es importante indicar que desde la perspectiva de los desastres es aún más amplio su significado, pues se le asocia además con las “implicaciones” de los daños, lo que hace que la lectura sea definitivamente

más amplia que la que se tiene desde el punto de vista de la ingeniería. Podría decirse que existen diferentes niveles de análisis de riesgo: Primero, cuando se le asocia con la probabilidad de que sean alcanzados ciertos estados críticos (o límites); segundo, cuando se estiman además las consecuencias de que varios de los estados críticos sean alcanzados, y sus probabilidades asociadas; y tercero, cuando se analizan, también, los efectos o implicaciones dentro de un contexto aún más amplio, como la sociedad o un segmento de la misma. En consecuencia, el análisis de riesgo puede entenderse de manera general como el postulado de que el riesgo es el resultado de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y las consecuencias en un área determinada.

La UNDRRO (United Nations Disaster Relief Office) y la UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) promovieron hace más de 25 años una reunión de expertos con el fin de proponer una unificación de definiciones. El informe de dicha reunión, *Natural Disasters and Vulnerability Analysis* (UNDRRO 1980) incluye las siguientes definiciones:

- a) Amenaza, peligro o peligrosidad (Hazard - H). Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.
- b) Vulnerabilidad (Vulnerability - V). Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total.
- c) Riesgo específico (Specific Risk -  $R_s$ ). Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad.
- d) Elementos en riesgo (Elements at Risk - E). Son la población, los edificios y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada.
- e) Riesgo total (Total Risk -  $R_t$ ). Se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre, es decir el producto del riesgo específico  $R_s$ , y los elementos en riesgo  $E$ .

De esta manera, la evaluación del riesgo se puede llevar a cabo mediante la siguiente formulación general:

$$R_t = E \cdot R_s = E \cdot H \cdot V \quad (1.1)$$

Conservando este marco conceptual propuesto por el grupo de expertos reunidos en 1979, se propuso en el Instituto de Ingeniería Sísmica y Sismología (IZIIS) de Skopje, Antigua República Yugoslava de Macedonia, eliminar la variable exposición  $E$ , por considerarla implícita en la vulnerabilidad  $V$ , sin que esto modificara sensiblemente la concepción original (Cardona 1985). En otras palabras: no se “es vulnerable” si no se “está expuesto”. El original de dicha formulación fue divulgada por Fournier d’Albe (1985), Milutinoviç y Petrovsky (1985b) y, posteriormente, por Coburn y Spence (1992). Esta manera de expresar los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, ampliamente aceptada desde entonces en el campo técnico y científico y, con mayor frecuencia, utilizada en las ciencias sociales, está fundamentada en la ecuación,

$$R_{ie}|_t = f(A_i, V_e)|_t \quad (1.2)$$

en la cual se expresa que el riesgo es una función  $f(\cdot)$  de la amenaza y la vulnerabilidad en la siguiente forma: una vez conocida la amenaza o peligro  $A_i$ , entendida como la probabilidad de que se presente un suceso con una intensidad mayor o igual a  $i$  durante un período de exposición  $t$  y, conocida la vulnerabilidad  $V_e$ , entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto  $e$  a ser afectado o de ser susceptible a sufrir un daño ante la ocurrencia de un suceso con una intensidad  $i$ , el riesgo  $R_{ie}$  se expresa como la probabilidad de que ocurra una pérdida en el elemento  $e$ , como resultado de la ocurrencia de un suceso con una intensidad mayor o igual a  $i$ . Es decir, el riesgo en general puede entenderse como la probabilidad de pérdida durante un período de tiempo  $t$  dado (Cardona 1985/86a).

Un estudio de evaluación de la vulnerabilidad analiza la capacidad de un elemento o sistema de resistir o absorber el impacto de un suceso que caracteriza una amenaza. Por lo tanto, se puede diferenciar del análisis de riesgo, desde el punto de vista de los desastres, en que este último se refiere a la evaluación de pérdidas o consecuencias factibles de acuerdo con el grado de amenaza considerado y con el nivel de vulnerabilidad existente en los elementos expuestos. La dimensión física de la vulnerabilidad expresa las características de ubicación en áreas propensas y las deficiencias de resistencia de los elementos expuestos, de los que depende su capacidad de absorber la acción del evento que representa la amenaza. La evaluación de vulnerabilidad desde el punto de vista físico se ha desarrollado notablemente. Su estudio se ha beneficiado directamente de los aportes conceptuales y del avance tecnológico de la ingeniería en diversos campos. El estudio analítico y experimental y la investigación de nuevos modelos y metodologías para la evaluación de la posibilidad de fallo, por una parte, y la confiabilidad y seguridad de sistemas, por otra, ha contribuido significativamente al estudio de la vulnerabilidad, al menos desde el punto de vista físico. Un ejemplo de este avance ha sido el desarrollo de técnicas, hoy ampliamente conocidas, para la evaluación del daño que puede presentarse en un edificio, en un conjunto de edificios, o en una infraestructura, si ocurre un terremoto de una cierta severidad. Esta valoración se realiza con base en la capacidad sismorresistente de los sistemas en

consideración, con diferentes niveles de aproximación y detalle. Estos enfoques permiten estimar una vulnerabilidad diferencial de acuerdo con la severidad del evento y con las características físicas de resistencia del sistema o del elemento sobre el cual incide.

En otros casos, la vulnerabilidad no es diferencial o el suceso peligroso tiene una severidad tal que no es posible una gradación del daño. Es el caso de avalanchas o grandes deslizamientos, en los cuales la sola exposición del elemento o sujeto susceptible ante el fenómeno significa en la práctica una vulnerabilidad física total. Un análisis de exposición, que indique si el elemento puede estar o no dentro del área de influencia del fenómeno, podría ser suficiente para determinar el riesgo partiendo de la hipótesis de que el elemento será gravemente dañado si es alcanzado por la acción del fenómeno.

En consecuencia, la evaluación de la vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el grado de susceptibilidad al daño de un elemento o grupo de elementos expuestos ante una amenaza particular, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso. Los elementos expuestos, o en riesgo, son el contexto social y material representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden ser afectados por un suceso, es decir, las actividades humanas, los sistemas realizados por el hombre, tales como edificios, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, utilidades, servicios y la gente que los utiliza.

En resumen, la evaluación de la capacidad sismorresistente de edificios o de obras civiles existentes es un caso ilustrativo de análisis de vulnerabilidad física (Aktan y Ho 1990). Lo es también la determinación del nivel de exposición de viviendas y de infraestructura y su capacidad para soportar una inundación. Por otra parte, la evaluación de las habilidades y de la capacidad de una comunidad para actuar correctamente ante la ocurrencia de una erupción volcánica, por ejemplo, corresponde por analogía a un análisis de vulnerabilidad desde el punto de vista educativo (Cardona 1996b/97). Igualmente, el análisis de la capacidad de reacción de personal de socorro y de la capacidad hospitalaria ante una demanda masiva de servicios médicos correspondería a un análisis de vulnerabilidad institucional y funcional para atender un desastre (OPS 1993). Por esto, la vulnerabilidad, en términos generales, se ha clasificado desde el punto de vista de su evaluación como de carácter técnico y de carácter social. La primera es factible de cuantificar en términos físicos y funcionales como, por ejemplo, en daños físicos potenciales o en posibles perjuicios por la interrupción de la operación de un servicio. La segunda, usualmente se puede valorar en términos de la falta de resiliencia, o capacidad de absorber el impacto. Su evaluación puede ser cualitativa o relativa, debido a que está relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, etc., que a menudo se pueden evaluar mediante índices o indicadores.

Es importante mencionar que las evaluaciones de carácter técnico suelen ser vistas como ingenuas desde la perspectiva social, debido al enfoque científico reduccionista que le ha dado la ingeniería a este tipo de estimaciones.

Sin embargo, dichas metodologías en muchos casos han demostrado su utilidad práctica, al menos en casos particulares. Por otra parte, los ingenieros suelen hacer críticas a los enfoques y análisis de los investigadores sociales, debido a que sus planteamientos son básicamente cuestionamientos críticos y, en muchos casos, tan amplios que no se concretan en soluciones o medidas prácticas que orienten la gestión preventiva.

## 1.2. RIESGO FÍSICO Y SU EVALUACIÓN

El riesgo, como ya se señaló, se obtiene a partir de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de una intensidad específica, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Desde el punto de vista físico, el “riesgo específico” es la pérdida esperada en un período de tiempo y puede ser expresada como una proporción del valor o coste de reemplazo de los elementos en riesgo.

Ha sido común que el riesgo sea valorado solamente en términos físicos, dado que la vulnerabilidad social es difícil de evaluar en términos cuantitativos. Esto no significa que no sea factible analizar la vulnerabilidad en forma relativa o mediante indicadores, lo que permite proponer “riesgos relativos” que igualmente permiten la toma de decisiones y la definición de prioridades de prevención y mitigación. En síntesis, para realizar un análisis de riesgo se deben seguir tres pasos: estimar la amenaza o peligrosidad, evaluar la vulnerabilidad y llevar a cabo la evaluación del riesgo como resultado de relacionar los dos parámetros anteriores (Taylor *et al.* 1998). Cambios en uno o los dos parámetros modifican el riesgo en sí mismo.

Ahora bien, una vez valorado el riesgo y teniendo en cuenta que no es posible reducirlo en su totalidad, para efectos de planificación, protección y diseño de obras de infraestructura ha sido común que se defina un nivel de “riesgo aceptable”. El riesgo aceptable, en general, son las posibles consecuencias sociales, económicas y ambientales que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera, por considerar que son poco factibles y, usualmente, a cambio de un beneficio inmediato. Desde el punto de vista técnico, corresponde a un valor de probabilidad de unas consecuencias dentro de un período de tiempo, que se considera admisible para determinar las mínimas exigencias o requisitos con fines de protección y planificación ante posibles fenómenos peligrosos.

Algunos autores distinguen entre riesgo “aceptable” y “tolerable”, indicando que un riesgo que es tolerable podría no ser aceptable. Un riesgo puede ser tolerable cuando el beneficio de convivir con él parece que excede el perjuicio que representa o porque existe la confianza de que puede ser controlado apropiadamente. Tolerar un riesgo no significa que este sea despreciable o que se pueda ignorar, sino más bien que es algo que se debe revisar y se debe reducir en la medida de las posibilidades. Para evitar

confusiones en la terminología, en general, se asume que la definición de riesgo aceptable incluye la definición de riesgo tolerable, es decir, que un riesgo aceptable también es tolerable. Es importante subrayar que una evaluación o evaluación del riesgo tiene implícito que el análisis del mismo se realiza teniendo como referente un criterio de aceptabilidad, es decir, tiene implícito que el análisis se realiza cotejando sus resultados con respecto a un valor predefinido. En definitiva, un análisis de riesgo se realiza solamente si se percibe que existe la necesidad de hacerlo.

Al igual que la amenaza, el riesgo también puede plasmarse en mapas. Estos mapas pueden ser, dependiendo de la naturaleza de la amenaza, probabilistas o deterministas. En este último caso, los mapas de riesgo representan un “escenario”, o sea la distribución espacial de los efectos potenciales que puede causar un suceso de una intensidad definida sobre un área geográfica, de acuerdo con el grado de vulnerabilidad de los elementos que componen el medio expuesto. Estos mapas no sólo son de fundamental importancia para la planificación de la intervención de la amenaza o la vulnerabilidad, sino también para la elaboración de los planes de contingencia que los organismos operativos de respuesta deben realizar durante la etapa de preparativos para emergencias. Es importante observar que un plan operativo elaborado con base en un mapa de riesgo puede ser mucho más eficiente que si se realiza sin conocer dicho escenario, dado que un mapa de riesgo permite definir procedimientos de respuesta más precisos para atender a la población en caso de desastre.

### **1.3. RIESGO DEL CONTEXTO**

En los últimos años, desde la perspectiva de los desastres naturales, el riesgo se ha intentado dimensionar, para efectos de su gestión, como las posibles consecuencias económicas, sociales y ambientales que pueden ocurrir en un lugar y en un tiempo determinado. Sin embargo, el riesgo no ha sido analizado de forma integral sino de manera fragmentada, de acuerdo con el enfoque de cada disciplina involucrada en su valoración. Para evaluar el riesgo de acuerdo con su definición es necesario tener en cuenta, desde un punto de vista multidisciplinar, no solamente el daño físico esperado, las víctimas o pérdidas económicas equivalentes, sino también factores sociales, organizacionales e institucionales, relacionados con el desarrollo de las comunidades. A escala urbana, por ejemplo, la vulnerabilidad como factor interno de riesgo, debe relacionarse no solamente con la exposición del contexto material o la susceptibilidad física de los elementos expuestos, sino también con las fragilidades sociales y la falta de resiliencia de la comunidad propensa, es decir, con su capacidad para responder o absorber el impacto. La deficiente información, comunicación y conocimiento entre los actores sociales, la ausencia de organización institucional y comunitaria, las debilidades en la preparación para la atención de emergencias, la inestabilidad política y la falta

de salud económica en un área geográfica contribuyen a tener un mayor riesgo. Por lo tanto, las consecuencias potenciales no sólo están relacionadas con el impacto del suceso, sino también con la capacidad para soportar el impacto y las implicaciones del mismo respecto del área geográfica considerada.

Dentro de lo definido como riesgo del contexto se tiene en cuenta la ausencia de desarrollo económico y social, debilidades para absorber el impacto, deficiencias en la gestión institucional y falta de capacidad para la respuesta en caso de emergencia. Este riesgo intenta reflejar de la manera más adecuada posible las condiciones de deterioro social. En términos relativos, un área que experimenta un alto deterioro social es más vulnerable y por lo tanto está en mayor riesgo. La falta de resiliencia, definida como el inverso de la capacidad económica, social e institucional representa la debilidad para absorber el impacto de una crisis, la falta de capacidad para responder en caso de emergencia y las deficiencias en la gestión institucional.

La vulnerabilidad, puede tener varias dimensiones dependiendo del aspecto que se esté teniendo en cuenta para su análisis (Cardona 2001). Wilches-Chaux (1989) propuso el concepto de vulnerabilidad global para integrar los diferentes aspectos que caracterizan la vulnerabilidad desde varias perspectivas. Dichas dimensiones de la vulnerabilidad son: física, económica, social, educativa, política, institucional, cultural, ambiental e ideológica.

Si bien es cierto que algunas circunstancias sociales pueden considerarse como aspectos asociados con la vulnerabilidad desde la perspectiva de los desastres, no siempre dichos aspectos pueden considerarse como la vulnerabilidad misma. Un ejemplo es el caso de la pobreza, la cual puede considerarse como un factor o como una causa de la vulnerabilidad ante cierto tipo de sucesos. Sin embargo, la pobreza en sí misma no es sinónimo de vulnerabilidad. Por esta razón, es necesario estudiar detenidamente los factores que hacen que las poblaciones sean vulnerables a los fenómenos que caracterizan a las amenazas. Sin duda, muchos desastres actualmente son el producto de factores económicos y políticos, muchas veces exacerbados por presiones, que concentran población en áreas de peligro. En la mayoría de los casos, la reducción de la vulnerabilidad está ligada de manera indisoluble a intervención de las necesidades básicas de desarrollo prevalecientes, razón por la cual se puede afirmar que existe una relación entre las condiciones de marginalidad económica y la vulnerabilidad vista desde la perspectiva de los desastres.

La vulnerabilidad de los asentamientos humanos está íntimamente ligada a los procesos sociales que allí se desarrollan y está relacionada con la fragilidad, la susceptibilidad o la falta de resiliencia de los elementos expuestos ante amenazas de diferente índole. Por otra parte, la vulnerabilidad esta íntimamente ligada a la degradación ambiental, no solo urbana sino en general del entorno natural intervenido o en proceso de transformación.

Por lo tanto, la degradación del entorno, el empobrecimiento y los desastres no son otra cosa que sucesos ambientales y su materialización es el

resultado de la construcción social del riesgo, mediante la gestación en unos casos de la vulnerabilidad y en otros casos de amenazas o de ambas circunstancias simultáneamente. En consecuencia, desde el punto de vista social, la vulnerabilidad refleja una carencia o déficit de desarrollo ya que el riesgo se genera y se construye socialmente. En los países en desarrollo se percibe un incremento en la vulnerabilidad ocasionado por factores como el rápido e incontrolable crecimiento urbano y el deterioro ambiental, que ocasionan la pérdida de la calidad de vida, la destrucción de los recursos naturales, del paisaje y la diversidad genética y cultural. Al respecto, Wijkman y Timberlake (1984) indican que “en numerosos países del tercer mundo la degradación ambiental, la pobreza y un rápido crecimiento demográfico pueden transformar un fenómeno natural en un desastre de gran envergadura. Los desastres son acontecimientos sociales y políticos con frecuencia evitables”. Esto conduce a pensar que es necesario cuestionar el modelo de desarrollo si dicho desarrollo exacerba la vulnerabilidad, como está ocurriendo en muchos lugares. Desde esta perspectiva se formulan además dos modelos conceptuales para analizar la vulnerabilidad (Blakie *et al.* 1994/96). El primero examina la evolución de condiciones inseguras específicas en términos de presiones dinámicas como son la urbanización y la degradación ambiental y en términos de causas de fondo inmersas en la economía política. Esto permite revelar los hilos que conectan las condiciones inseguras que caracterizan a una determinada configuración espacial y temporal de vulnerabilidad con procesos económicos, políticos y sociales globales. El segundo modelo parte del concepto de acceso, desde una familia, comunidad o sociedad dada, a los recursos que permiten seguridad frente a determinadas amenazas, lo que permite identificar los diferentes canales y barreras sociales, económicas, políticas, culturales, examinándose no sólo variables económicas y políticas tradicionales como acceso a la tierra y otros medios de producción, sino también variables como sexo, edad y etnia.

Analizar la vulnerabilidad dentro de los patrones más amplios de la sociedad, supone encontrar las causas de fondo o subyacentes de la vulnerabilidad desde la perspectiva de los desastres y los mecanismos o procesos dinámicos que trasladan causas de fondo a condiciones inseguras. Las causas de fondo de la vulnerabilidad o causas subyacentes que dan origen a la vulnerabilidad son procesos económicos, demográficos y políticos, que afectan la asignación y distribución de recursos entre diferentes grupos de personas y reflejan la distribución del poder (Wisner 2001).

Hay algunos procesos globales a los cuales se debe prestar más atención, como el crecimiento de la población, la urbanización rápida, presiones financieras internacionales, degradación de la tierra, cambio ambiental global y guerra. Como ejemplo, la urbanización ha contribuido considerablemente a los severos daños durante ciertos terremotos urbanos: el aumento de la población es una de las razones que explica el incremento de personas afectadas como resultado de sequías e inundaciones, así como la deforestación aumenta las inundaciones y el riesgo de deslizamientos (Blakie *et al.* 1994/96).



En otras palabras, el riesgo depende de aspectos físicos, pero también de un impacto intangible de carácter social, económico, ambiental. Dicho impacto, a su vez depende de una serie de factores que agravan la situación –a veces llamados efectos indirectos– que dependen de situaciones sociales del contexto y de su resiliencia; expresión de vulnerabilidad no siempre es dependiente de la amenaza.

Desde el punto de vista de la ingeniería, la vulnerabilidad se convierte en riesgo (nivel de consecuencias esperadas) cuando se define ante qué grado de amenaza se quiere establecer el potencial de consecuencias, pero la descripción de esa “condición que favorece o que facilita” que al ocurrir cualquier evento se convierta en consecuencias es una función atemporal. Al definir el nivel de intensidad probable se incluye el tiempo, dado que la probabilidad se establece para un lapso de tiempo. De esta forma se establece el potencial de pérdida, de daño o de consecuencias, que ya en ese momento es un valor probable y al cual se le denomina riesgo. Aceptando la hipótesis que existe una alta relación entre las carencias de desarrollo y la vulnerabilidad, (Cardona 2004) propone los siguientes factores de los cuales se origina la vulnerabilidad:

- a) La exposición, que es la condición de susceptibilidad que tiene el asentamiento humano de ser afectado por estar en el área de influencia de los fenómenos peligrosos y por su fragilidad física ante los mismos.
- b) La fragilidad social, que se refiere a la predisposición que surge como resultado del nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socioeconómicos.
- c) La falta de resiliencia, que expresa las limitaciones de acceso y movilización de recursos del asentamiento humano, su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto.

Desde una perspectiva holística, es necesario considerar variables de diversa índole cuyo tratamiento no siempre se facilita utilizando funciones. Por esta razón, es necesario utilizar *proxies* o “representaciones”, que bien pueden ser índices o indicadores. Así, se puede afirmar que la vulnerabilidad tiene unos componentes que reflejan susceptibilidad y fragilidad física (exposición) –que tienen una dependencia de la acción o severidad del fenómeno– y otros que reflejan fragilidad social y falta de resiliencia –capacidad de recuperarse y de absorber el impacto– que no son tan dependientes o no están tan condicionados a la acción del fenómeno. Un ejemplo sería una buena organización institucional, una buena gobernabilidad, una buena cantidad de servicios de salud, una alta estabilidad económica, entre otros, que se pueden considerar factores de resiliencia. Su ausencia, o la falta de estas cualidades o capacidades se traduce en vulnerabilidad, pero en una vulnerabilidad “prevaliente”,

”característica”, “inherente<sup>1</sup>”, “intrínseca”, con la cual se sienten muy a gusto lo investigadores de las ciencias sociales. En resumen, existe una cierta susceptibilidad y fragilidad social y una cierta falta de resiliencia que se expresa en una vulnerabilidad prevaeciente, que “agrava” el impacto directo del daño causado por la acción de un fenómeno, y la vulnerabilidad condicional o dependiente de la amenaza, que modula el daño directo en el contexto social y material.

Este tipo de planteamiento intenta integrar de manera holística la lectura de las ciencias físicas y las ciencias sociales, con el fin de tener una visión completa de los factores que originan o exacerban la vulnerabilidad, teniendo en cuenta los aspectos de resistencia física ante los fenómenos y los aspectos prevaecientes de autoprotección individual y colectiva (Cardona y Barbat 2000b).

---

<sup>1</sup> Cardona, en general, acepta los sinónimos “inherente” o “intrínseca”, pero no los considera los más apropiados, dado que reflejan que se trata de algo innato, propio o esencial, con lo cual no esta de acuerdo. Prefiere el concepto de que es algo “adquirido” que prevalece o que predomina.

## **2. EVALUACIÓN HOLÍSTICA DE RIESGOS EN CENTROS URBANOS**

### **2.1. INTRODUCCIÓN**

El primer paso para una adecuada gestión de riesgos es identificar y estudiar el riesgo al que se está expuesto. Una metodología para la evaluación de la gestión de riesgos se presenta en Carreño *et al.* 2004. En este capítulo se propone, para el caso de un centro urbano, una metodología de evaluación del riesgo desde una perspectiva integral u holística que incluye, además del riesgo físico, variables económicas, sociales y de capacidad de respuesta. Esta metodología permite orientar la toma de decisiones en la gestión de riesgos identificando zonas de la ciudad que pueden ser especialmente problemáticas en caso de un evento catastrófico, no sólo por el daño físico que pueden presentar, sino también por las características socio-económicas del contexto y la capacidad para la atención de desastres.

Teniendo en cuenta el nivel espacial al cual se trabaja cuando se hacen evaluaciones de riesgo a escala urbana es necesario contar con el escenario de daños y pérdidas en los elementos expuestos que caracterizan la ciudad (edificaciones, infraestructura, instalaciones, etc.). En rigor, para el análisis sería necesario hacer estimaciones para varias amenazas, dado que la amenaza y el riesgo pueden variar espacialmente de manera notable (como lo demuestra por ejemplo un estudio de microzonificación sísmica o de inundaciones). Sin embargo, con base en información histórica, se puede identificar la amenaza que puede causar la situación más crítica en toda la ciudad y hacer comparaciones de riesgo con base en ese referente.

Esta metodología identifica las circunstancias que favorecen que un fenómeno intenso se convierta en un desastre, con el fin de “anticiparse” y

poder intervenir dichas circunstancias y así disminuir el impacto de los futuros eventos peligrosos. El enfoque de la técnica de evaluación del riesgo, tiene una influencia insospechadamente grande en la efectividad de la gestión del riesgo. Si la evaluación, por ejemplo, invita a la acción e identifica aspectos factibles de intervenir, es mucho más eficaz que si sus resultados se limitan a identificar la existencia de debilidades.

## 2.2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

La evaluación holística del riesgo (Cardona 2001) se realiza a partir de variables de entrada que describen tanto al riesgo físico como el riesgo del contexto y que se denominaran descriptores. Los descriptores de riesgo físico se obtienen a partir de escenarios de riesgo físico y los del riesgo del contexto a partir de información sobre la fragilidad socio-económica y la falta de resiliencia del contexto. La fragilidad socio-económica y la falta de resiliencia son factores que “agravan” el riesgo físico o impacto directo de un evento, lo que puede expresarse de la siguiente forma:

$$R_T = R_F(1 + F) \quad (2.1)$$

Esta expresión se conoce como la ecuación de Moncho<sup>2</sup>, , donde  $R_T$  es el riesgo total,  $R_F$  es el riesgo físico y  $F$  es un coeficiente de agravamiento –o de impacto– que depende de la fragilidad socio-económica,  $FS$ , y de la falta de resiliencia del contexto,  $FR$

$$F = \sum_i w_{FSi} \times F_{FSi} + \sum_j w_{FRj} \times F_{FRj} \quad (2.2)$$

El coeficiente de agravamiento,  $F$ , se obtiene de la suma ponderada de los factores de agravamiento por fragilidad social,  $F_{FSi}$ , y por falta de resiliencia,  $F_{FRj}$ , utilizando pesos  $w_{FSi}$  y  $w_{FRj}$  que toman en consideración su importancia relativa. Dichos factores de agravamiento son calculados mediante las funciones de transformación de las figuras 2.2-2.3, que relacionan los valores brutos de las variables o descriptores que representan la fragilidad social y la resiliencia con los valores correspondientes del agravamiento. El peso  $w_{FS}$  o  $w_{FR}$  de cada factor  $F_{FSi}$  o  $F_{FRj}$  se calcula utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ)<sup>3</sup>. La suma de los pesos  $w_{FS}$  y  $w_{FR}$  es 1.

El riesgo físico  $R_F$  se evalúa en forma similar, utilizando las funciones de transformación de la figura 2.4 en las que, entrando con el valor bruto de cada descriptor que representa el riesgo físico (número de fallecidos, área destruida,

<sup>2</sup> Esta denominación se la dio un grupo de expertos en uno de los talleres de trabajo del proyecto BID-IDEA, realizado en Barcelona en noviembre de 2003.

<sup>3</sup> Este método se explica en el Anexo A, así como también las matrices con las cuales se han determinado los pesos respectivos.

etc.) se obtienen los factores de riesgo físico  $F_{RFi}$ . Consecuentemente, dichos factores y, por lo tanto, el riesgo físico  $R_F$ , también toman valores entre 0 y 1.

Se estima que el impacto indirecto de un evento, representado por  $F$  en la ecuación 2.1, puede llegar a ser igual al impacto directo. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL, se estima que los efectos económicos indirectos de un desastre natural dependen del tipo de fenómeno. Si se trata de desastre “húmedo” (por ejemplo, causado por una inundación) los efectos económicos indirectos podrían llegar a ser del orden de 0.5 veces los efectos directos. En el caso de un desastre “seco” (por ejemplo, un sismo), los efectos indirectos podrían llegar a ser del orden de 0.75 veces los efectos directos. La diferencia radica en el tipo de daños que ocasionan (destrucción de cultivos, de medios de sustento, infraestructura, vivienda, etc.). Esto significa que el impacto total podría ser del orden de 1.5 y 1.75 veces el impacto directo. En este caso se utiliza como máximo para el impacto indirecto el valor del impacto directo, lo que se ve reflejado en la ecuación 2.1, donde el coeficiente de agravamiento  $F$  toma un valor final entre 0 y 1<sup>4</sup>.

Para determinar las funciones que dan origen a los valores de los factores de riesgo físico y de agravamiento se utilizaron en su mayoría funciones sigmoideas (véanse figuras 2.2-2.4). En estas figuras se indican, en la parte inferior de cada curva, los valores máximos y mínimos a partir de los cuales el factor toma el valor máximo o mínimo (1 ó 0). Los valores límites se determinaron teniendo en cuenta información de desastres causados por fenómenos naturales anteriores y apreciaciones de expertos. Para los descriptores de falta de resiliencia relacionados con el nivel de desarrollo y operatividad en emergencia, se supuso que existe una relación lineal. El coeficiente de agravamiento se obtiene teniendo en cuenta las variables de fragilidad social y falta de resiliencia que se indican en la tabla 2.1. La figura 2.1 ilustra el esquema de cálculo del riesgo total a partir de los indicadores de riesgo físico y de agravamiento, así como los pesos utilizados en cada caso.

En el *eje x* de las curvas de las figuras 2.2 a 2.4 están los valores de los descriptores y en el *eje y* el respectivo factor de riesgo o agravamiento. En las tablas 2.2 y 2.3 se indican las unidades de cada descriptor de fragilidad social y resiliencia, por una parte, y de riesgo físico, por otra, para la aplicación de las curvas y la obtención de los factores en cada caso.

---

<sup>4</sup> Es importante indicar que la relación entre impacto directo e indirecto que se menciona se refiere a estimaciones gruesas de efectos económicos directos e indirectos. No existe un estudio que relacione empíricamente los coeficientes de agravamiento aquí propuestos con los efectos económicos indirectos; sin embargo, dichos indicadores son un *proxy* de los aspectos que agravan la situación en caso de presentarse el daño físico, contribuyendo al impacto socioeconómico indirecto que en este caso se valora con fines de evaluaciones relativas.

Tabla 2.1. Descriptores utilizadas para estimar el coeficiente *F*

Aspecto	Descriptor
Fragilidad social	Área de barrios marginales
	Tasa de mortalidad
	Tasa de delincuencia
	Índice de disparidad social
	Densidad de la población
Falta de resiliencia	Camas hospitalarias
	Recurso humano en salud
	Espacio público
	Personal de socorro
	Nivel de desarrollo de la localidad
	Operatividad en emergencias

Tabla 2.2. Descriptores de agravamiento, sus unidades e identificadores

	Descriptor	Unidades
$X_{FS1}$	Área de barrios marginales	Área barrios marginales / Área localidad
$X_{FS2}$	Tasa de mortalidad	Número de muertos cada 10000 habitantes
$X_{FS3}$	Tasa de delincuencia	Número de delitos cada 100000 habitantes
$X_{FS4}$	Índice de disparidad social	Índice entre 0 y 1
$X_{FS5}$	Densidad de población	Hab / Km <sup>2</sup> de área construida
$X_{FR1}$	Camas hospitalarias	Número de camas cada 1000 hab
$X_{FR2}$	Recurso humano en salud	Recurso humano en salud cada 1000 hab
$X_{FR3}$	Espacio público	Área de espacio público/ Área total
$X_{FR4}$	Personal de socorro	Personal de socorro cada 10000 hab
$X_{FR5}$	Nivel de desarrollo de la localidad	Calificación de 1 a 4
$X_{FR6}$	Operatividad en emergencias	Calificación de 0 a 2

Tabla 2.3. Descriptores de riesgo físico, sus unidades e identificadores

	Descriptor	Unidades
$X_{RF1}$	Área destruida	% (área destruida / área construida)
$X_{RF2}$	Muertos	Número de heridos cada 1000 habitantes
$X_{RF3}$	Heridos	Número de muertos cada 1000 habitantes
$X_{RF4}$	Roturas red de acueducto	Número de roturas / Km <sup>2</sup>
$X_{RF5}$	Roturas red de gas	Número de roturas / Km <sup>2</sup>
$X_{RF6}$	Longitud de redes eléctricas caídas	m de longitud caída / Km <sup>2</sup>
$X_{RF7}$	Vulnerabilidad de centrales telefónicas	Índice de vulnerabilidad
$X_{RF8}$	Vulnerabilidad subestaciones eléctricas	Índice de vulnerabilidad
$X_{RF9}$	Daño en la red vial	Índice de daño

$F_{RF1}$	Área destruida	31
$F_{RF2}$	Muertos	10
$F_{RF3}$	Heridos	10
$F_{RF4}$	Roturas red de acueducto	19
$F_{RF5}$	Roturas red de gas	11
$F_{RF6}$	Longitud de redes eléctricas caídas	11
$F_{RF7}$	Vulnerabilidad centrales telefónicas	4
$F_{RF8}$	Vulnerabilidad subestaciones eléctricas	4



**$R_F$  | Riesgo físico**

$F_{FS1}$	Área de barrios marginales	18
$F_{FS2}$	Tasa de mortalidad	4
$F_{FS3}$	Tasa de delincuencia	4
$F_{FS4}$	Índice de disparidad social	18
$F_{FS5}$	Densidad de población	18
$F_{FR1}$	Camas hospitalarias	6
$F_{FR2}$	Recurso humano en salud	6
$F_{FR3}$	Espacio público	4
$F_{FR4}$	Personal de socorro	3
$F_{FR5}$	Nivel de desarrollo de la localidad	9
$F_{FR6}$	Operatividad en emergencias	9

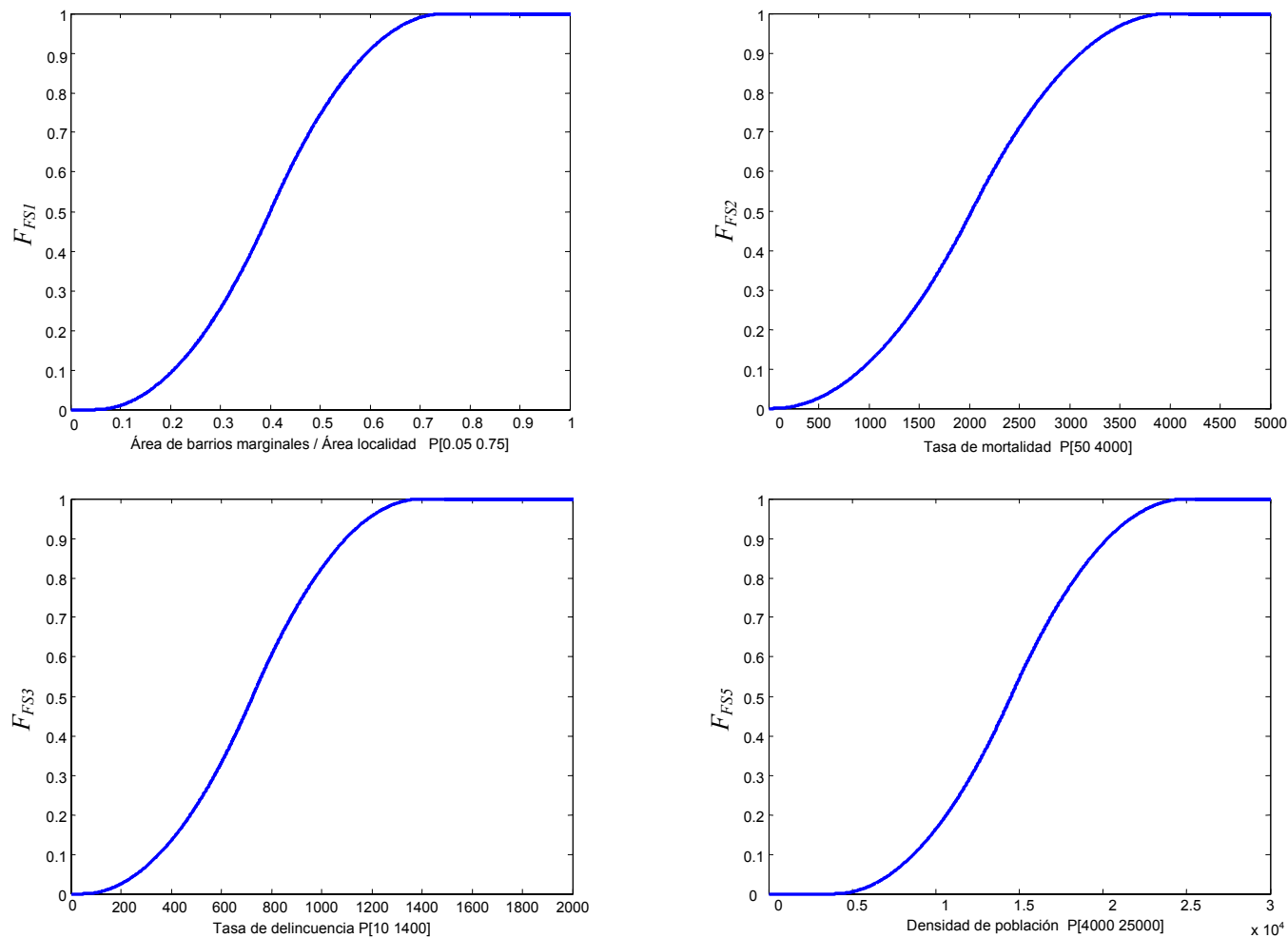


**$F$  | Coeficiente de agravamiento**



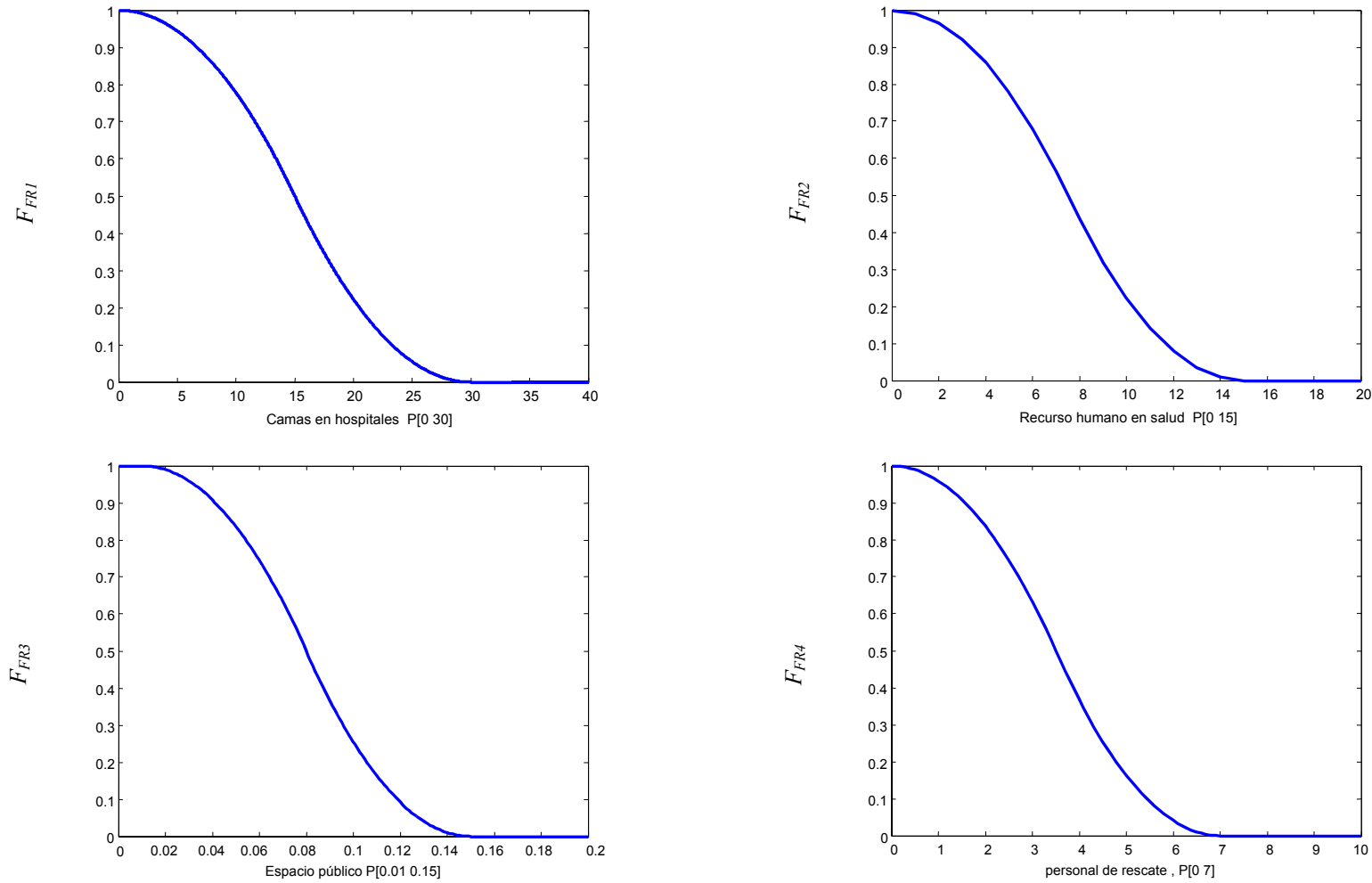
$$R_T = R_F (1 + F)$$

*Figura 2.1. Factores de riesgo físico, fragilidad social y falta de resiliencia y sus pesos*

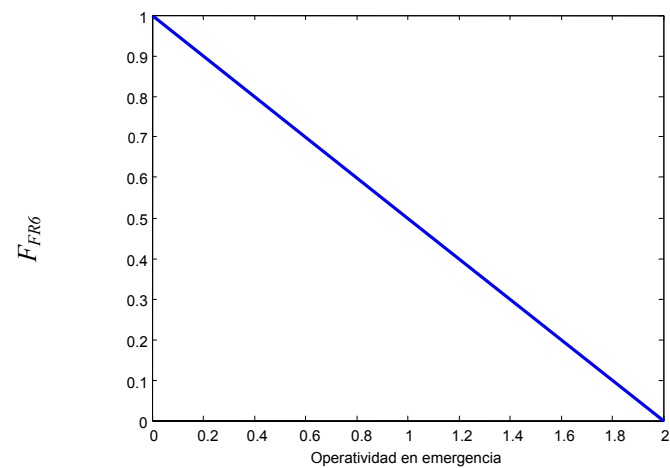
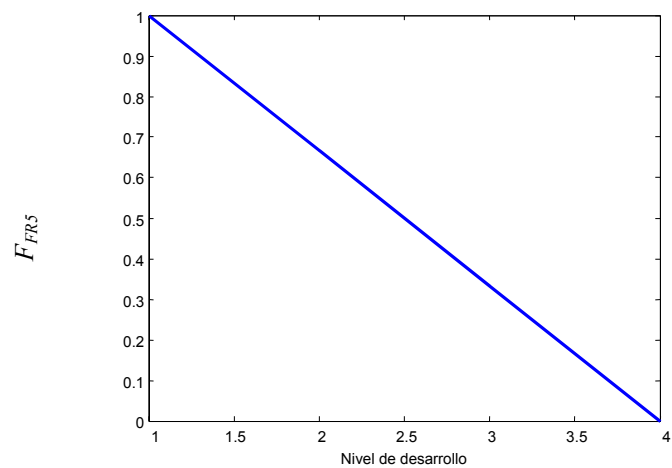


**Figura 2.2.** Funciones de transformación utilizadas para obtener los factores de agravamiento por fragilidad social

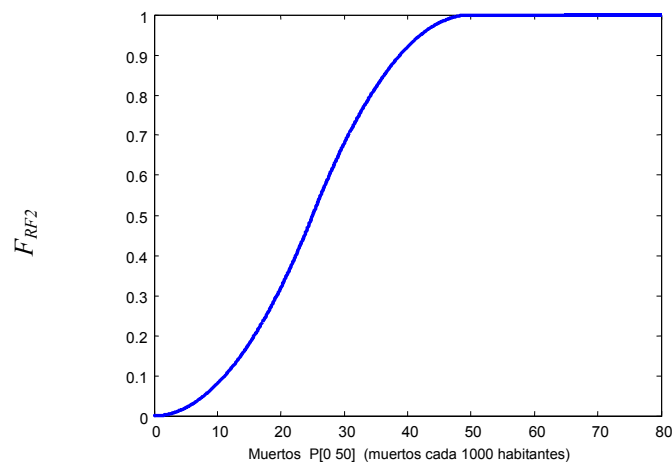
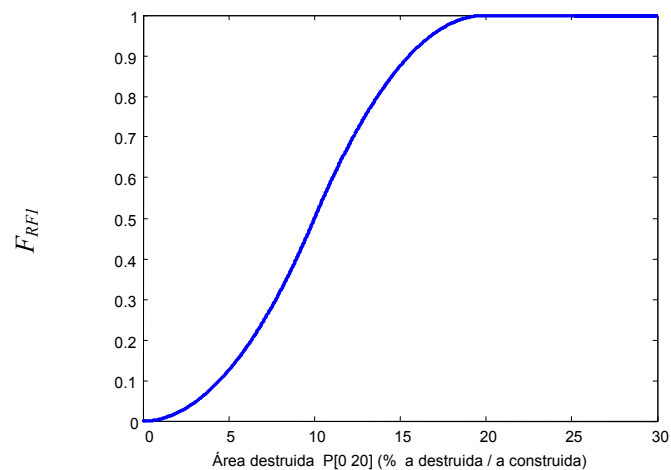




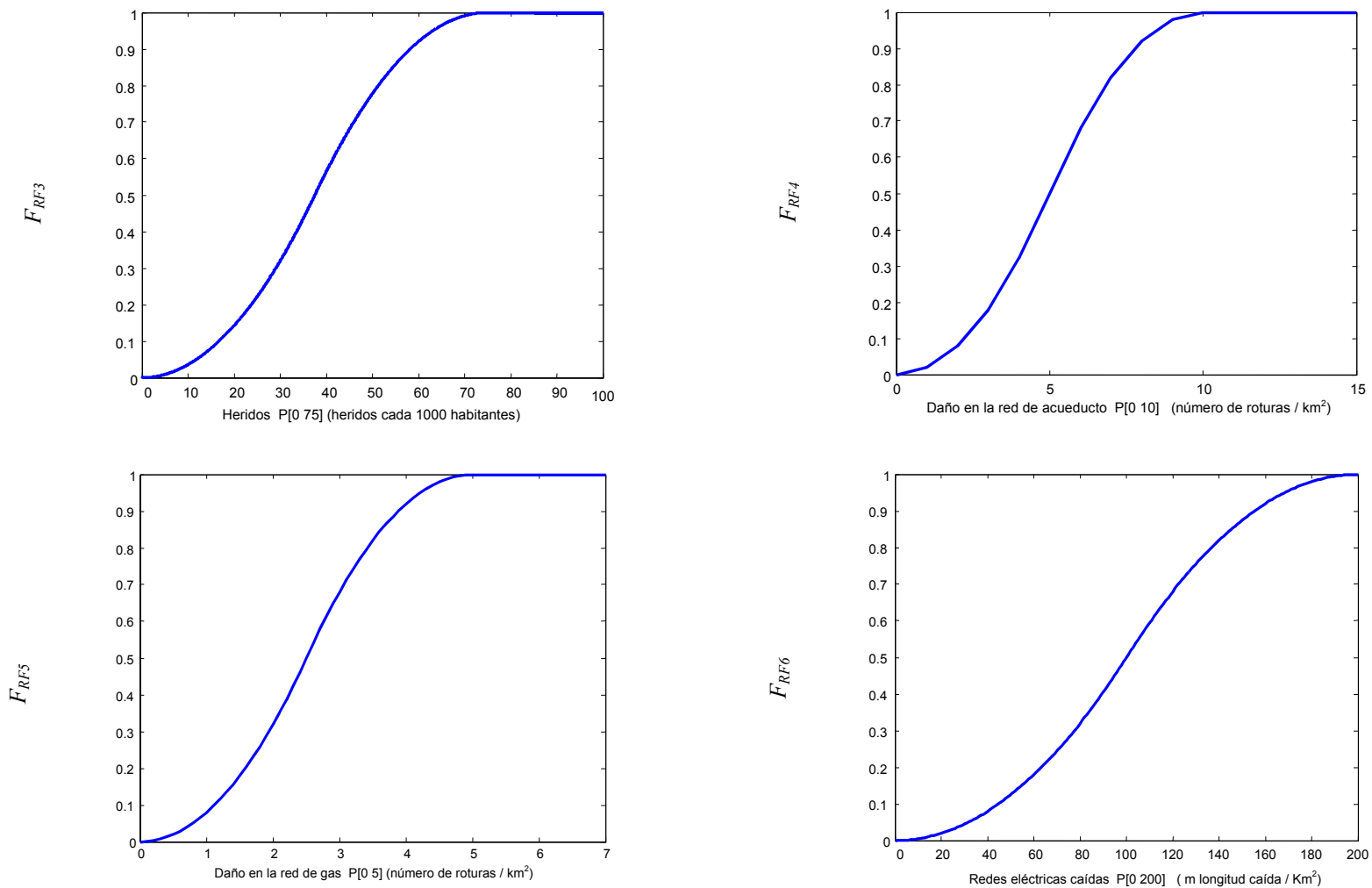
**Figura 2.3a. Funciones de transformación utilizadas para obtener los factores de agravamiento por falta de resiliencia**



**Figura 2.3b. Funciones de transformación utilizadas para los factores de agravamiento por falta de resiliencia**



**Figura 2.4a. Funciones de transformación utilizadas para obtener los factores de riesgo físico**

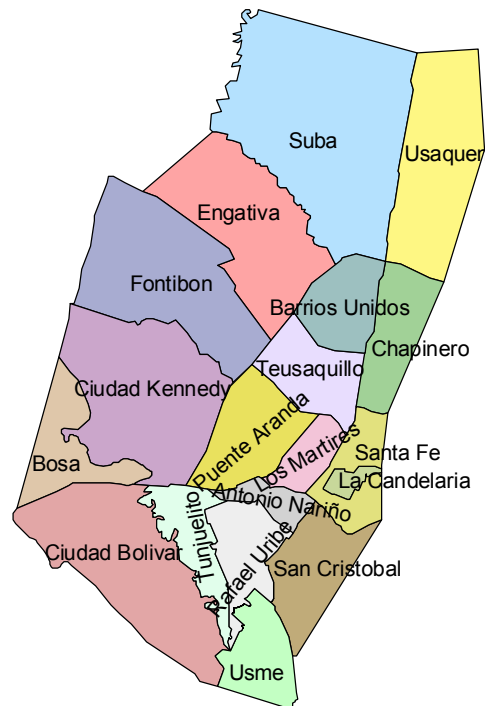


**Figura 2.4b. Funciones de transformación utilizadas para obtener los factores de riesgo físico**

## 2.3. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

### 2.3.1 Riesgo sísmico de Bogotá D.C., Colombia

Bogotá, capital de Colombia, esta dividida político-administrativamente en localidades o alcaldías menores. Una localidad es una división política, administrativa y territorial municipal, con competencias claras y criterios de financiación y aplicación de recursos, creada con el fin atender de manera más eficaz las necesidades de esa porción del territorio. Desde 1992 Bogotá esta dividida en 20 localidades así: Usaquén, Chapinero, Santafé, San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Bosa, Kennedy, Fontibón, Engativa, Suba, Barrios Unidos, Teusaquillo, Mártires, Antonio Nariño, Puente Aranda, Candelaria, Rafael Uribe, Ciudad Bolívar y Sumapaz. En este estudio se tienen en cuenta solo 19 de estas debido a que la localidad de Sumapaz al sur corresponde fundamentalmente a área rural.

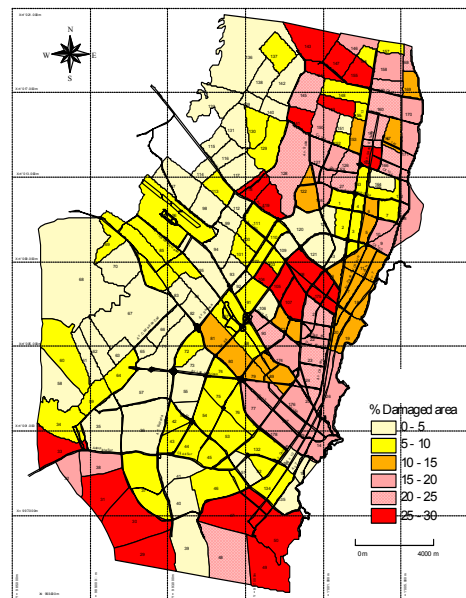


**Figura 2.5. División político-administrativa de la ciudad de Bogotá D.C., Colombia**

En el caso de Bogotá se utilizó como punto de partida el escenario de riesgo sísmico de la figura 2.6. Este mapa representa el área destruida en celdas o grupos de manzanas en caso de presentarse un sismo cercano fuerte de 0.2g de aceleración en roca, que corresponde a uno de los escenarios de pérdidas estimados con base en la microzonificación sísmica de Bogotá, Universidad de los Andes (1996). Con base en esta información y con base en indicadores socioeconómicos y físicos de la ciudad, con anterioridad Cardona (2001) aplicó

el primer modelo de evaluación holística del riesgo sísmico urbano, lo que permitió una primera visión del problema de riesgo desde una perspectiva integral.

En las tablas 2.4 y 2.6 se presentan los valores de los descriptores utilizados, en el modelo aquí propuesto, que representan el riesgo físico, la fragilidad social y la falta de resiliencia de la ciudad respectivamente. Las tablas 2.5 y 2.7 presentan los valores de los factores de riesgo físico, y de agravamiento, a causa de la fragilidad social y falta de resiliencia, obtenidos con la aplicación de las curvas de las figuras 2.7 a 2.9, así como el índice de riesgo físico,  $R_F$ , y el coeficiente de agravamiento,  $F$ . Además se presentan los valores promedio normalizados, utilizando la densidad de población, para la ciudad. La tabla 2.8 muestra los resultados del riesgo físico, el coeficiente de agravamiento y el riesgo total de cada localidad y el promedio para la ciudad.



**Figura 2.6. Escenario de riesgo físico sísmico, Universidad de los Andes (1996)**

Las figuras 2.7 a 2.11 presentan gráficamente los resultados de la evaluación holística del riesgo sísmico de Bogotá utilizando este nuevo modelo. En ellas se observa como la localidad de La Candelaria presenta la situación más crítica en cuanto al riesgo físico y al riesgo total<sup>5</sup>, ya que su coeficiente de agravamiento, aunque no es el más alto de la ciudad, es considerable. Las localidades con mayor coeficiente de agravamiento (por fragilidad social y falta de resiliencia) son Usme, San Cristóbal, Bosa y Ciudad Bolívar, mientras que los valores más bajos pertenecen a Barrios Unidos, Chapinero y Teusaquillo. El mayor riesgo físico lo presenta, además de La Candelaria, las localidades de Usaquén, Barrios Unidos y Teusaquillo, mientras que el menor riesgo físico es

<sup>5</sup> En la evaluación realizada por Cardona (2001) esta localidad también presenta la situación más crítica una vez se corrigen algunos valores que en la información se encontraban errados.

el de Ciudad Kennedy y Tunjuelito. Como resultado, los mayores valores de riesgo total lo presentan las localidades de La Candelaria, Usaquen, Santafe y Barrios Unidos, y los menores valores se presentan en Ciudad Kennedy, Fontibón y Tunjuelito.

Es importante indicar que, en general, los resultados obtenidos para Bogotá utilizando el enfoque propuesto originalmente por Cardona (2001) y con este nuevo modelo de evaluación holística del riesgo son similares. Sin embargo, el modelo actual corrige aspectos metodológicos y conceptuales y refina la técnica convirtiéndola en una herramienta más versátil. Las mejoras conceptuales le dan un soporte teórico y analítico más sólido al nuevo modelo, eliminando aspectos innecesarios y cuestionables del modelo original que le restaban transparencia y aplicabilidad en algunos casos. Manteniendo el enfoque basado en indicadores y la alternativa de utilización de conjuntos difusos o funciones de pertenencia, propuestos originalmente, el nuevo modelo ha propuesto una técnica en la cual se fusionan y simplifican estas dos aproximaciones, lo que ha permitido depurar el procedimiento de escalamiento y la determinación de los indicadores y los índices finales, facilitando la comparación, incluso, entre varias ciudades. Aunque quedan aspectos que sería deseable con el tiempo verificar de manera empírica –como la correlación del coeficiente de agravamiento o de impacto con efectos económicos indirectos– o aspectos que sería deseable estandarizar –como las funciones de transformación– el nuevo modelo es una innovación y un aporte para la evaluación *ex ante* desde una perspectiva holística del riesgo sísmico urbano y en general, por analogía, del riesgo a causa de cualquier tipo de fenómeno que pueda generar desastres futuros.

Tabla 2.4. Valores de los descriptores de riesgo físico,  $R_F$ 

Localidad	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$
Usaquen	15,1186	4	27	2	0	24	0,7	0,83
Chapinero	5,0302	5	27	5	0	81	0,77	0,9
Santafe	6,6070	3	16	7	0	63	0,62	0,9
San Cristóbal	4,9278	2	13	4	0	34	0,68	0,9
Usme	10,5870	0	1	1	1	14	0,67	0,9
Tunjuelito	3,5494	0	1	1	0	7	0,58	0,7
Bosa	4,2461	2	12	3	1	42	0,73	0,9
Ciudad Kennedy	4,8198	0	2	1	0	11	0,54	0,7
Fontibón	5,3163	1	7	1	0	5	0,64	0,7
Engativa	6,8777	1	5	1	0	3	0,66	0,8
Suba	13,8449	2	13	1	0	19	0,66	0,77
Barrios Unidos	12,2659	4	27	2	1	45	0,75	0,9
Teusaquillo	10,2985	8	41	4	0	36	0,74	0,9
Mártires	7,0283	6	30	2	0	18	0,66	0,7
Antonio Nariño	4,0287	0	2	2	0	17	0,67	0,8
Puente Aranda	5,7006	1	6	2	0	20	0,69	0,7
Candelaria	8,9515	9	44	6	0	81	0,67	0,9
Rafael Uribe Uribe	3,2433	1	11	2	0	29	0,65	0,9
Ciudad Bolívar	8,8908	1	11	1	1	21	0,64	0,9

Tabla 2.5. Factores,  $F_{RF}$ , y el riesgo físico,  $R_F$ 

Localidad	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$	$R_F$
Usaquen	0,881	0,0128	0,259	0,08	0	0,0288	0,7	0,83	0,386
Chapinero	0,127	0,02	0,259	0,5	0	0,328	0,77	0,9	0,264
Santafe	0,218	0,0072	0,091	0,82	0	0,198	0,62	0,9	0,314
San Cristobal	0,121	0,0032	0,0601	0,32	0	0,0578	0,68	0,9	0,175
Usme	0,557	0	0,000356	0,02	0,08	0,0098	0,67	0,9	0,253
Tunjuelito	0,063	0	0,000356	0,02	0	0,00245	0,58	0,7	0,076
Bosa	0,090	0,0032	0,0512	0,18	0,08	0,0882	0,73	0,9	0,152
Ciudad Kennedy	0,116	0	0,00142	0,02	0	0,00605	0,54	0,7	0,092
Fontibón	0,141	0,0008	0,0174	0,02	0	0,00125	0,64	0,7	0,105
Engativa	0,237	0,0008	0,00889	0,02	0	0,00045	0,66	0,8	0,139
Suba	0,811	0,0032	0,0601	0,02	0	0,0181	0,66	0,77	0,326
Barrios Unidos	0,701	0,0128	0,259	0,08	0,08	0,101	0,75	0,9	0,350
Teusaquillo	0,529	0,0512	0,589	0,32	0	0,0648	0,74	0,9	0,366
Mártires	0,247	0,0288	0,32	0,08	0	0,0162	0,66	0,7	0,186
Antonio Nariño	0,081	0	0,00142	0,08	0	0,145	0,67	0,8	0,116
Puente Aranda	0,162	0,0008	0,0128	0,08	0	0,02	0,69	0,7	0,126
Candelaria	0,401	0,0648	0,658	0,68	0	0,328	0,67	0,9	0,426
Rafael Uribe Uribe	0,0526	0,0008	0,043	0,08	0	0,042	0,65	0,9	0,103
Ciudad Bolivar	0,395	0,0008	0,043	0,02	0,08	0,022	0,64	0,9	0,206
<b>Bogotá D.C.</b>	<b>0,41</b>	<b>0,0039</b>	<b>0,0536</b>	<b>0,0924</b>	<b>0,0486</b>	<b>0,0379</b>	<b>0,6645</b>	<b>0,8630</b>	<b>0,2246</b>



Tabla 2.6. Valores de los descriptores de agravamiento por fragilidad social y falta de resiliencia, *FS* y *FR*

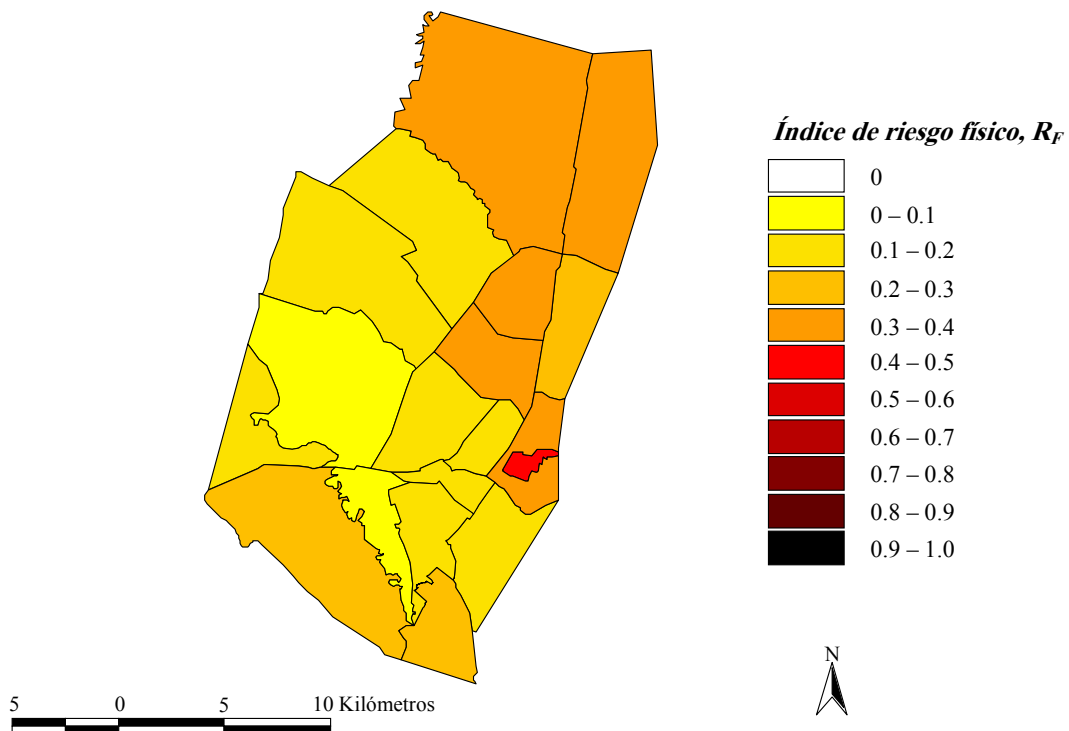
Localidad	$X_{FS1}$	$X_{FS2}$	$X_{FS3}$	$X_{FS4}$	$X_{FS5}$	$X_{FR1}$	$X_{FR2}$	$X_{FR3}$	$X_{FR4}$	$X_{FR5}$	$X_{FR6}$
Usaquen	0,311	1260	433	0,33	12720,00	0,17937	28	0,0496	0,844	4	2
Chapinero	0,161	1786	1282	0,00	9655,00	0,49088	89	0,0129	3,231	4	1
Santafe	0,370	1082	1034	0,36	19223,00	0,62909	143	0,0032	3,382	3	2
San Cristóbal	0,614	1511	216	0,82	32242,00	0,10353	19	0,0148	3,882	1	2
Usme	1,476	421	74	1,00	353106,00	0,06368	2	0	7,323	1	2
Tunjuelito	0,738	715	322	0,45	33095,00	0,17567	13	0,0978	4,504	2	2
Bosa	1,076	664	258	0,51	17383,00	0,04872	3	0,0359	7,837	1	1
Ciudad Kennedy	0,501	1433	380	0,44	22352,00	0,06875	8	0,0202	3,454	2	1
Fontibón	0,340	1000	275	0,39	9795,00	0,02736	4	0,0109	3,870	3	2
Engativa	0,257	2789	278	0,41	22488,00	0,06770	7	0,0005	3,371	2	2
Suba	0,326	1880	316	0,41	12658,00	0,08701	15	0,0257	4,202	2	2
Barrios Unidos	0,001	950	509	0,29	16908,00	0,15437	33	0,1170	6,175	4	1
Teusaquillo	0,166	0	888	0,05	11536,00	0,51755	20	0,1126	1,540	4	2
Mártires	0,201	570	831	0,33	11902,00	1,14030	103	0,0271	25,426	3	1
Antonio Nariño	0,112	534	513	0,20	20414,00	0,09494	5	0,0131	8,884	4	1
Puente Aranda	0,058	1147	448	0,37	15203,00	0,03858	4	0,0030	1,488	3	2
Candelaria	0,775	0	904	0,34	11422,00	0,00000	0	0	0	3	0
Rafael Uribe Uribe	0,532	927	288	0,50	23125,00	0,01863	11	0,00133	3,696	1	2
Ciudad Bolívar	0,418	970	162	0,92	28058,00	0,07044	3	0	5,880	1	2

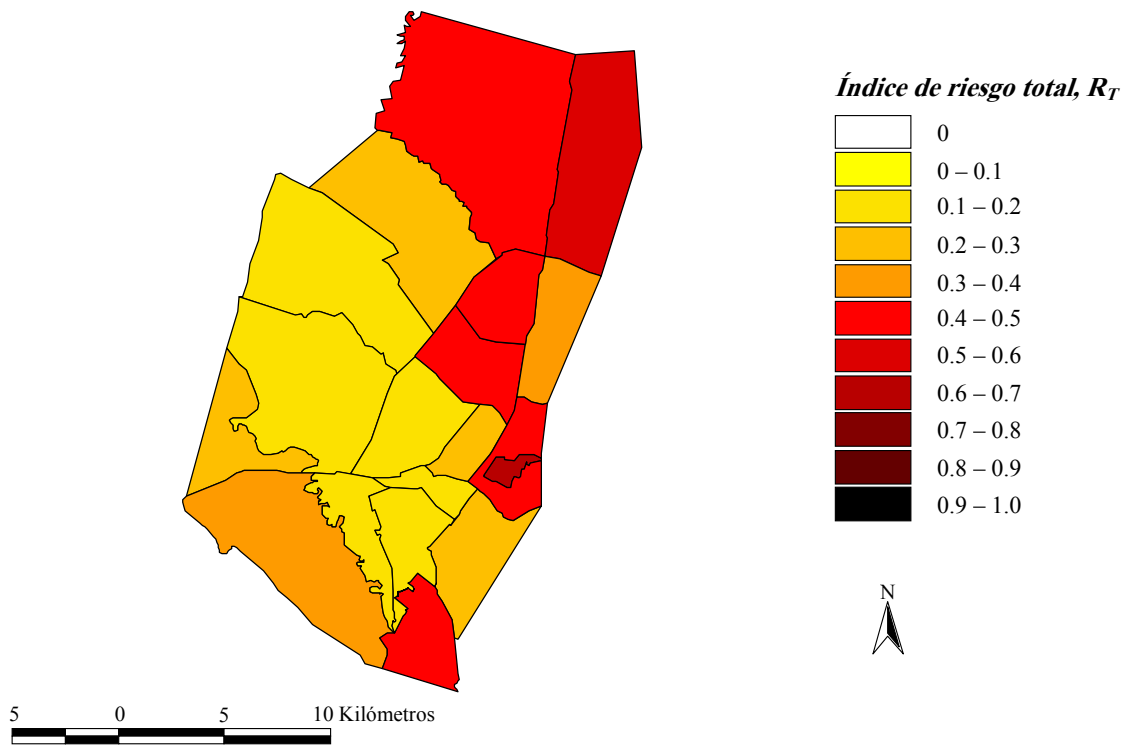
Tabla 2.7. Coeficiente de agravamiento,  $F$ , a partir de los factores de fragilidad social y falta de resiliencia,  $F_{FS}$  y  $F_{FR}$ 

Localidad	$F_{FS1}$	$F_{FS2}$	$F_{FS3}$	$F_{FS4}$	$F_{FS5}$	$F_{FR1}$	$F_{FR2}$	$F_{FR3}$	$F_{FR4}$	$F_{FR5}$	$F_{FR6}$	$F$
Usaquen	0,278	0,0150	0,1610	0,327	0,345	1	0	0,840	0,969	0	0	0,309
Chapinero	0,0503	0,1370	0,985	0,000	0,145	0,999	0	0,999	0,575	0	0,5	0,245
Santafé	0,418	0,00149	0,853	0,362	0,849	0,999	0	1	0,533	0,3	0	0,478
San Cristóbal	0,925	0,0580	0,030	0,816	1,000	1	0	0,998	0,396	1	0	0,707
Usme	1,000	0	0,000632	1,000	1,000	0,999	0,964	1	0,000	1	0	0,797
Tunjuelito	0,999	0	0,0812	0,449	1,000	1	0,0356	0,278	0,255	0,6	0	0,587
Bosa	1,000	0	0,0475	0,515	0,737	1	0,92	0,932	0,000	1	0,5	0,701
Ciudad Kennedy	0,747	0,0417	0,120	0,440	0,968	1	0,436	0,989	0,513	0,6	0,5	0,643
Fontibón	0,343	0,0000	0,056	0,385	0,152	1	0,858	1	0,399	0,3	0	0,358
Engativa	0,175	0,6740	0,057	0,409	0,971	1	0,564	1	0,536	0,6	0	0,521
Suba	0,311	0,1720	0,078	0,415	0,340	0,998	0	0,975	0,321	0,6	0	0,369
Barrios Unidos	0,000	0	0,231	0,290	0,703	1	0	0,111	0,030	0	0,5	0,302
Teusaquillo	0,0549	0	0,712	0,050	0,258	0,999	0	0,143	0,904	0	0	0,193
Mártires	0,0931	0	0,645	0,331	0,283	0,997	0	0,97	0,000	0,3	0,5	0,325
Antonio Nariño	0,0157	0	0,235	0,198	0,905	1	0,778	0,999	0,000	0	0,5	0,407
Puente Aranda	0,000261	0,0048	0,174	0,373	0,565	1	0,858	1	0,911	0,3	0	0,391
Candelaria	1,000	0	0,730	0,340	0,250	1	1	1	1,000	0,3	1	0,631
Rafael Uribe Uribe	0,806	0	0,0622	0,503	0,984	1	0,142	1	0,445	1	0	0,635
Ciudad Bolívar	0,550	0	0,0138	0,920	1,000	1	0,92	1	0,049	1	0	0,700
<b>Bogotá D.C.</b>	<b>0,762</b>	<b>0,032</b>	<b>0,111</b>	<b>0,736</b>	<b>0,880</b>	<b>0,999</b>	<b>0,670</b>	<b>0,922</b>	<b>0,188</b>	<b>0,774</b>	<b>0,089</b>	<b>0,663</b>

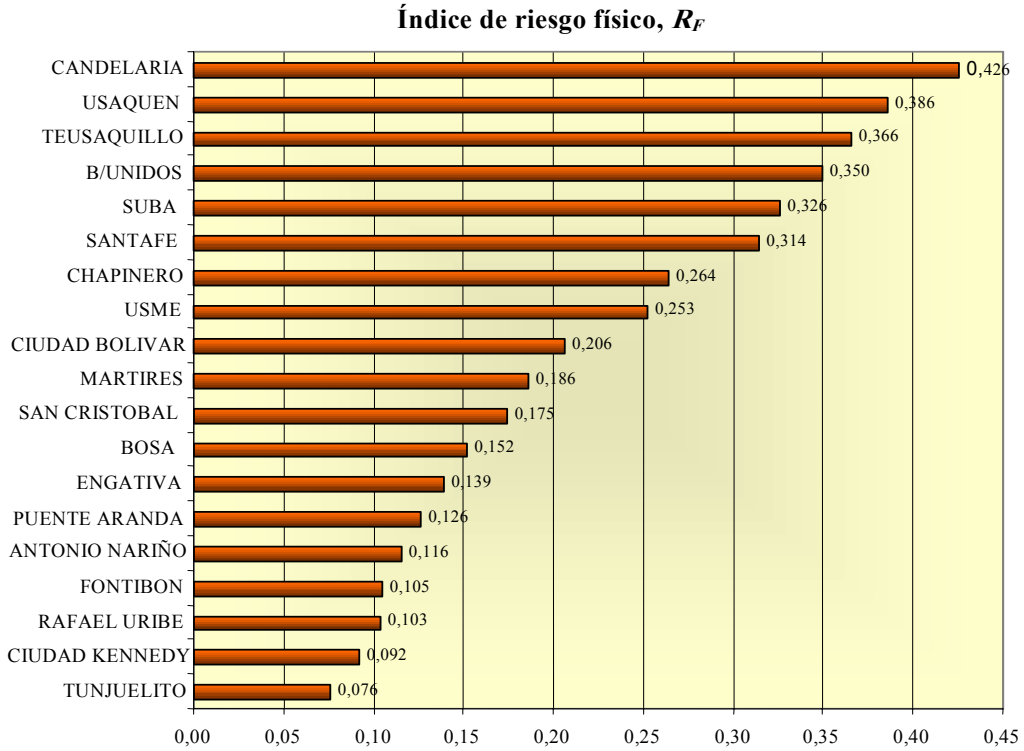
Tabla 2.8. Riesgo total para la ciudad de Bogotá D.C.

Localidad	$R_F$	$F$	$R_T$
Usaquen	0,386	0,309	0,505
Chapinero	0,264	0,245	0,329
Santafe	0,314	0,478	0,464
San Cristóbal	0,175	0,707	0,298
Usme	0,253	0,797	0,454
Tunjuelito	0,076	0,587	0,121
Bosa	0,152	0,701	0,258
Ciudad Kennedy	0,092	0,643	0,150
Fontibón	0,105	0,358	0,142
Engativa	0,139	0,521	0,211
Suba	0,326	0,369	0,446
Barrios Unidos	0,350	0,302	0,456
Teusaquillo	0,366	0,193	0,436
Mártires	0,186	0,325	0,246
Antonio Nariño	0,116	0,407	0,163
Puente Aranda	0,126	0,391	0,175
Candelaria	0,426	0,631	0,694
Rafael Uribe Uribe	0,103	0,635	0,169
Ciudad Bolívar	0,206	0,700	0,350
<b>Bogotá D.C.</b>	<b>0.225</b>	<b>0.663</b>	<b>0.374</b>

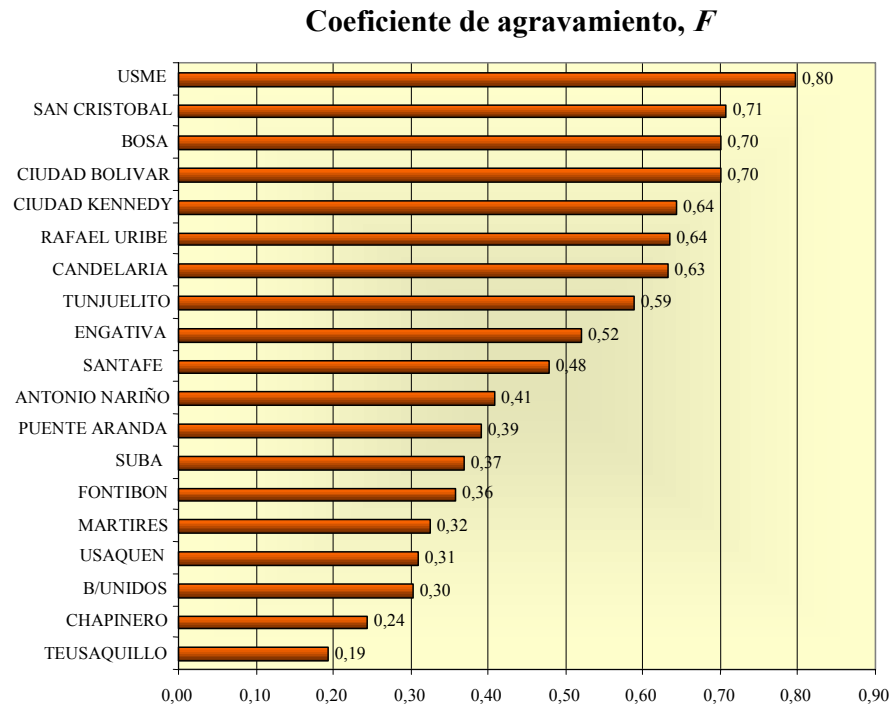
Figura 2.7. Índice de riesgo físico,  $R_F$ , para las localidades de Bogotá D.C.



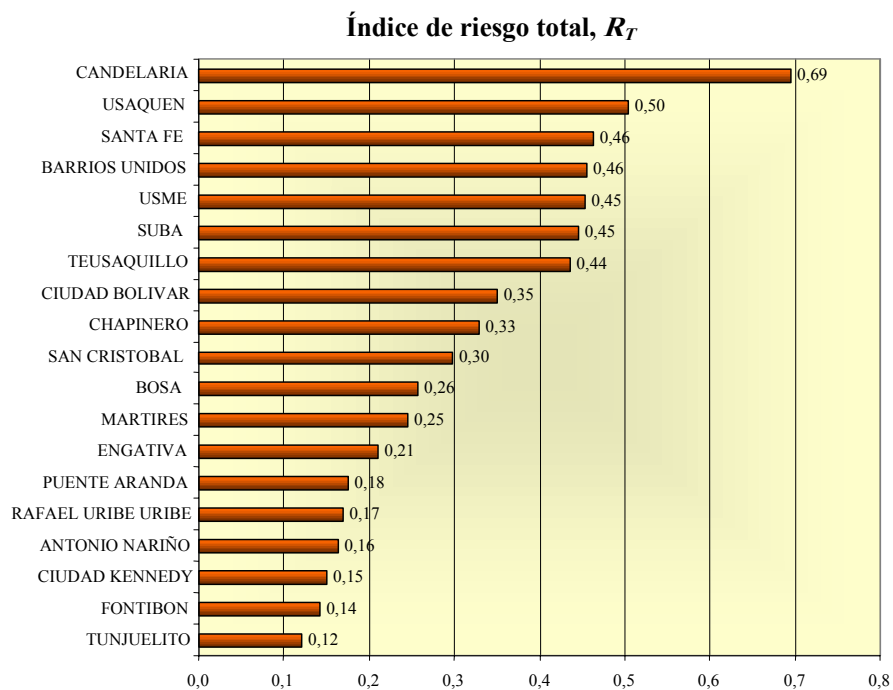
**Figura 2.8.** Índice de riesgo total,  $R_T$ , para las localidades de Bogotá D.C.



**Figura 2.9.** Valor del índice de riesgo físico para las localidades de Bogotá D.C., ordenado descendientemente



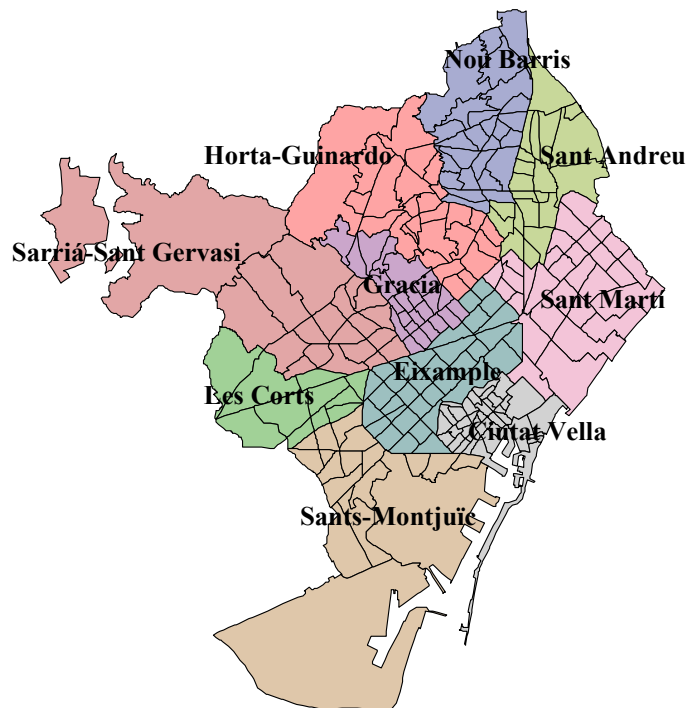
**Figura 2.10.** Valor del coeficiente de agravamiento para las localidades de Bogotá D.C., ordenado descendientemente



**Figura 2.11** Valor del índice de riesgo total para las localidades de Bogotá D.C., ordenado descendientemente

### 2.3.2 Riesgo sísmico de Barcelona, España

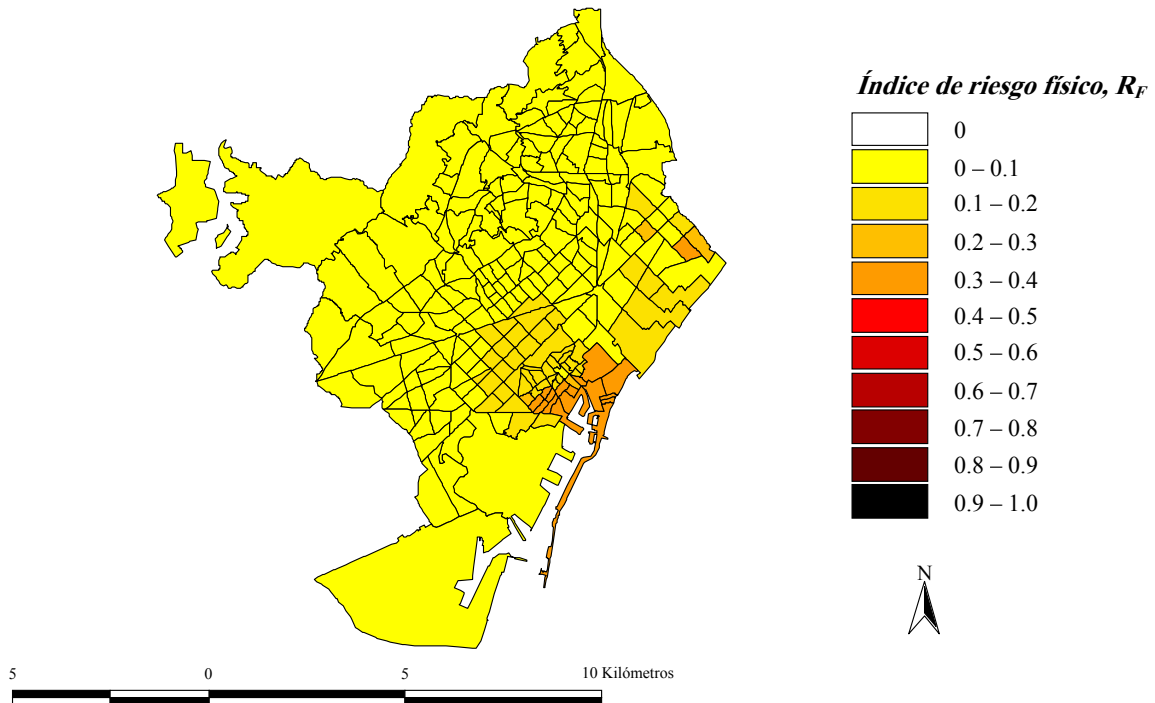
La ciudad de Barcelona está formada por diez distritos que están dirigidos por un Gerente nombrado por Alcaldía, Figura 2.12. Los distritos tienen competencias en temas de urbanismo, vía pública, mantenimiento de infraestructuras, servicios personales, población, etc. y son: Ciutat Vella, Eixample, Sants-Montjuïc, Les Corts, Sarrià-Sant Gervasi, Gràcia, Horta-Guinardó, Nou Barris, Sant Andreu y Sant Martí. Los distritos a su vez se subdividen en 38 barrios o zonas estadísticas grandes (ZEG). Barcelona también está subdividida en 248 zonas estadísticas pequeñas (ZRP). En este caso para riesgo físico se partió de un escenario para un sismo probabilista calculado en el marco del proyecto RISK-UE que fue calculado teniendo en cuenta las 248 zonas ZRP (ICC/CIMNE, 2004). El coeficiente de agravamiento fue estimado por distrito, debido a las competencias que este nivel tiene.



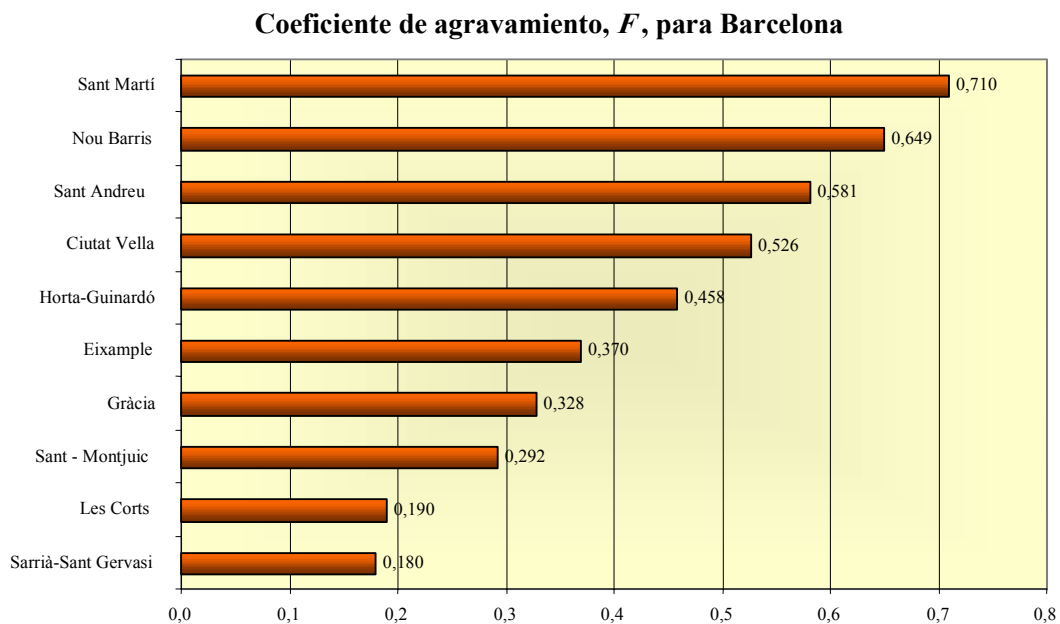
*Figura 2.12. División territorial de Barcelona, España*

En la tabla 2.9 se presentan algunos ejemplos de los valores de los descriptores de riesgo físico para las 248 ZRP. La tabla 2.10 presenta algunos ejemplos de los factores de riesgo físico. La tabla 2.11 muestra los valores de los descriptores de fragilidad social y falta de resiliencia, y la tabla 2.12 presenta los valores de los factores obtenidos mediante la aplicación de las funciones de las figuras 2.2 a 2.4. Además se presentan los valores promedio de los factores para la ciudad, normalizados utilizando la densidad de la población. La tabla 2.13 presenta algunos ejemplos de los resultados finales de riesgo físico, del coeficiente de agravamiento y del riesgo total por cada ZRP y el valor promedio de cada uno de ellos para la ciudad.

En las figuras 2.13 a 2.15 se observan los resultados obtenidos para el índice de riesgo físico, el coeficiente de agravamiento y el riesgo total para Barcelona, aplicando la metodología propuesta.



**Figura 2.13. Índice de riesgo físico para Barcelona, España**



**Figura 2.14. Coeficiente de agravamiento para los distritos de la ciudad de Barcelona, España**

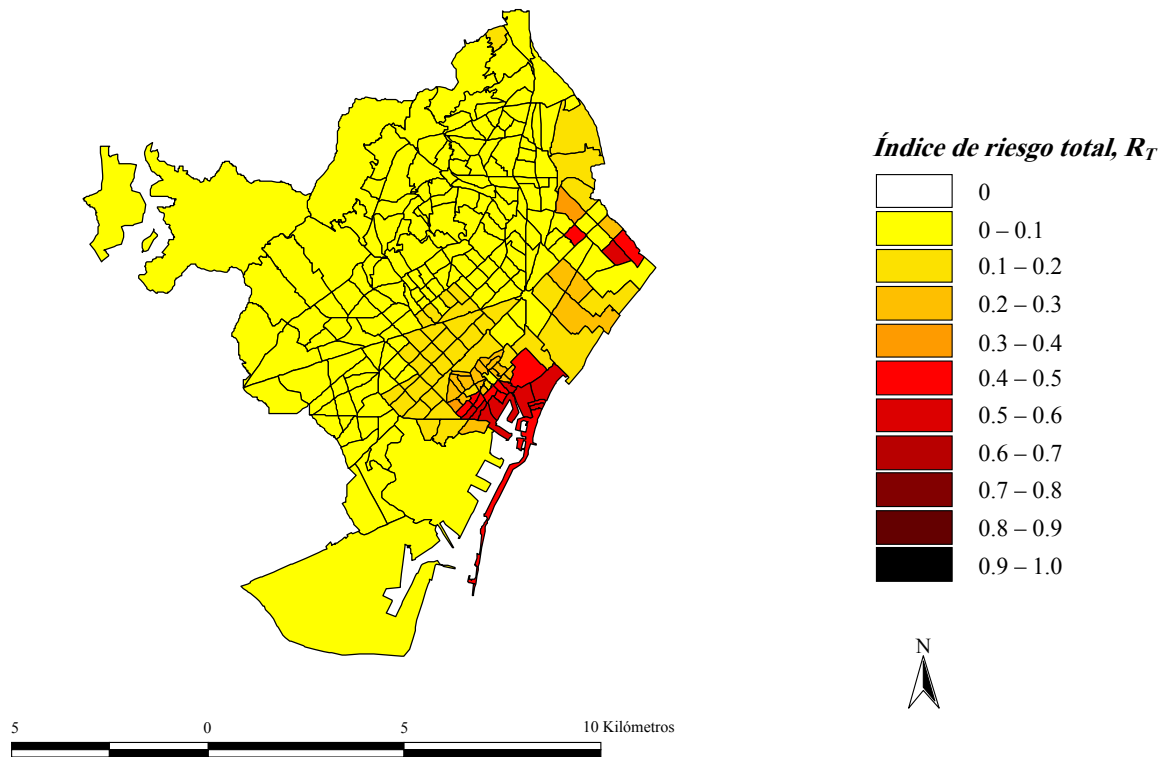


Figura 2.15. Índice de riesgo total para Barcelona, España

Tabla 2.9. Ejemplos de algunos valores de los descriptores de riesgo físico

$ZRP$	$X_{RF1}$	$X_{RF2}$	$X_{RF3}$	$X_{RF4}$	$X_{RF5}$	$X_{RF6}$	$X_{RF7}$	$X_{RF8}$	$X_{RF9}$
001	16,9	6	12	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
002	19,5	10	21	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
003	19,7	9	19	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
004	20,5	6	12	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
005	20,7	7	15	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
006	22,2	5	11	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
007	24,2	7	14	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2
008	10,1	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
009	8,9	2	5	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
010	8,3	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
240	3,9	3	6	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05
241	1,6	4	8	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
242	2,4	5	10	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
243	11,1	19	40	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
244	2,9	7	15	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
245	8,4	16	34	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0
246	3,3	7	15	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
247	3,3	8	18	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025
248	4,9	9	20	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0



Tabla 2.10. Factores e índice de riesgo físico,  $R_F$ , en Barcelona

<i>ZRP</i>	<i>F<sub>RF1</sub></i>	<i>F<sub>RF2</sub></i>	<i>F<sub>RF3</sub></i>	<i>F<sub>RF4</sub></i>	<i>F<sub>RF5</sub></i>	<i>F<sub>RF6</sub></i>	<i>F<sub>RF7</sub></i>	<i>F<sub>RF8</sub></i>	<i>F<sub>RF9</sub></i>	<i>R<sub>F</sub></i>
001	0,952	0,0288	0,0512	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,306
002	0,999	0,08	0,157	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,331
003	1	0,0648	0,128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,328
004	1	0,0288	0,0512	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,336
005	1	0,0392	0,08	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,340
006	1	0,02	0,043	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,316
007	1	0,0392	0,0697	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,2	0,339
008	0,51	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,172
009	0,396	0,0032	0,00889	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,139
010	0,344	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,126
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
240	0,0761	0,0072	0,0128	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,05	0,053
241	0,0128	0,0128	0,0228	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,032
242	0,0288	0,02	0,0356	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,041
243	0,604	0,289	0,564	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,279
244	0,042	0,0392	0,08	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,048
245	0,353	0,205	0,411	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,183
246	0,0544	0,0392	0,08	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,054
247	0,0544	0,0512	0,115	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0,025	0,058
248	0,12	0,0648	0,142	0,02	0,02	0,02	0,17	0,32	0	0,078
<b>Barcelona</b>	<b>0,152</b>	<b>0,017</b>	<b>0,033</b>	<b>0,020</b>	<b>0,020</b>	<b>0,020</b>	<b>0,170</b>	<b>0,320</b>	<b>0,031</b>	<b>0,076</b>

Tabla 2.11. Valores de los descriptores de agravamiento por fragilidad social y falta de resiliencia en Barcelona

<i>Distrito</i>	$X_{FS1}$	$X_{FS2}$	$X_{FS3}$	$X_{FS4}$	$X_{FS5}$	$X_{FR1}$	$X_{FR2}$	$X_{FR3}$	$X_{FR4}$	$X_{FR5}$
Ciutat Vella	0,3	119	252,87	1	12690	4,9650	4	0,0828	4,918	1
Eixample	0	119	60,04	0,5	14186	6,1475	5	0,0180	5,853	3
Sant - Montjuic	0	102	73,61	0,5	6834	0	0	0,1219	4,971	3
Les Corts	0	81	30,99	0,2	14080	10,6864	10	0,0424	5,853	4
Sarrià-Sant Gervasi	0	95	30,99	0	11647	10,8704	10	0,0194	1,766	4
Gràcia	0	115	42,66	0,3	16570	7,1269	6	0,0324	3,242	3
Horta-Guinardó	0,1	95	36,00	0,8	21573	16,1716	14	0,0369	3,242	2
Nou Barris	0,2	95	31,54	1	28256	0	0	0,0430	3,257	1
Sant Andreu	0,1	91	31,54	0,8	19890	1,1325	1	0,0198	3,257	2
Sant Martí	0,4	93	42,44	1	19069	0	0	0,0337	1,119	1

Tabla 2.12. Coeficiente de agravamiento calculado a partir de los factores de fragilidad social y de falta de resiliencia en Barcelona

<i>Distrito</i>	$F_{FS1}$	$F_{FS2}$	$F_{FS3}$	$F_{FS4}$	$F_{FS5}$	$F_{FR1}$	$F_{FR2}$	$F_{FR3}$	$F_{FR4}$	$F_{FR5}$	$F$
Ciutat Vella	0,255	0,00061	0,0452	1	0,342	0,964	0,858	0,461	0,383	1	0,5259
Eixample	0	0,00061	0,000111	0,633	0,471	0,925	0,68	0,993	0,0801	0,3	0,3698
Sant - Montjuic	0	0,000347	0,000612	0,633	0,0364	1	1	0,0806	0,461	0,3	0,2920
Les Corts	0	0,000123	0	0,0408	0,461	0,755	0,222	0,893	0,0801	0	0,1905
Sarrià-Sant Gervasi	0	0,00026	0	0	0,265	0,769	0,222	0,991	0,889	0	0,1799
Gràcia	0	0,000542	0	0,163	0,678	0,894	0,564	0,949	0,589	0,3	0,3284
Horta-Guinardó	0,0102	0,00026	0	1	0,947	0,436	0	0	0,589	0,6	0,4579
Nou Barris	0,0918	0,00026	0	1	1	1	1	0,889	0,578	1	0,6493
Sant Andreu	0,0102	0,000215	0	1	0,882	0,997	0,991	0,99	0,578	0,6	0,5810
Sant Martí	0,5	0,000237	0	1	0,84	1	1	0,943	0,955	1	0,7099
<b>Barcelona</b>	<b>0,10</b>	<b>0,00033</b>	<b>0,00352</b>	<b>0,72</b>	<b>0,69</b>	<b>0,87</b>	<b>0,66</b>	<b>0,75</b>	<b>0,54</b>	<b>0,58</b>	<b>0,47</b>

**Tabla 2.13. Riesgo total para la ciudad de Barcelona**

<i>ZRP</i>	<i>R<sub>F</sub></i>	<i>F<sub>A</sub></i>	<i>R<sub>T</sub></i>
001	0,306	0,526	0,467
002	0,331	0,526	0,506
003	0,328	0,526	0,500
004	0,336	0,526	0,513
005	0,340	0,526	0,519
006	0,316	0,526	0,482
007	0,339	0,526	0,517
008	0,172	0,526	0,263
009	0,139	0,526	0,212
010	0,126	0,526	0,193
...	...	...	...
240	0,053	0,710	0,091
241	0,032	0,710	0,055
242	0,041	0,710	0,070
243	0,279	0,710	0,476
244	0,048	0,710	0,082
245	0,183	0,710	0,313
246	0,054	0,710	0,092
247	0,058	0,710	0,100
248	0,078	0,710	0,134
<b><i>Barcelona</i></b>	<b><i>0.0759</i></b>	<b><i>0.47</i></b>	<b><i>0.115</i></b>

### 2.3.3 Comparación de resultados

Los resultados obtenidos para Bogotá han sido comparados con los obtenidos para Barcelona. Los valores promedio de riesgo y agravamiento para las dos ciudades se presentan en la tabla 2.14. Bogotá esta situada en una zona de amenaza sísmica intermedia, mientras que Barcelona esta localizada en una zona de amenaza sísmica baja. Los valores promedio obtenidos para el índice de riesgo físico  $R_F$  reflejan dicha situación. Es interesante observar que los resultados obtenidos para el coeficiente de agravamiento  $F$ , que tiene en cuenta las condiciones de fragilidad socio-económica y de falta de resiliencia del contexto, no presentan una diferencia muy grande. Los valores más bajos del coeficiente de agravamiento son similares (0,193 para la localidad de Teusaquillo en Bogotá y 0.1799 para el distrito de Sarriá en Barcelona). Los valores altos en las dos ciudades si presentan una diferencia más notable (0.797 para la localidad de Usme en Bogotá y 0.7099 para el distrito de Sant Marti en Barcelona). La metodología, como se ha ilustrado, permite la comparación entre diferentes ciudades del mundo, lo que permite una evaluación holística del riesgo unificada.

**Tabla 2.14. Comparación de valores medios para Bogotá y Barcelona**

<i>Índice</i>	<i>Bogotá D.C.</i>	<i>Barcelona</i>
Riesgo físico, $R_f$	0.225	0.0759
Coefficiente de agravamiento, $F$	0.663	0.47
Riesgo total, $R_T$	0.374	0.1150

## **3. EVALUACIÓN DEL RIESGO UTILIZANDO INDICADORES**

### **3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO**

Medir el riesgo a causa de fenómenos naturales mediante un sistema de indicadores transparentes, representativos y robustos, de fácil comprensión por parte de los responsables de formular políticas públicas a nivel nacional, que pueda aplicarse en forma periódica y que permita la agrupación y comparación entre países constituye un desafío mayor desde el punto de vista conceptual, técnico-científico y numérico. Cualquier método que se intente tendrá limitaciones mayores o menores, según sea el punto de vista de quien lo examine. En esta monografía se presenta la descripción de un sistema de indicadores para el dimensionamiento relativo del riesgo a nivel de país y su aplicación. Esta evaluación se propone utilizando indicadores que reflejen la vulnerabilidad y la efectividad de las políticas públicas de reducción de riesgo, en forma coherente desde el punto de vista conceptual (Cardona *et al.* 2003a/b), utilizando técnicas numéricas consistentes que permiten la formulación de indicadores compuestos, de acuerdo con el estado actual del conocimiento (JRC-EC 2002).

El riesgo no sólo depende de la posibilidad de que ocurran fenómenos naturales intensos, sino también de las condiciones de vulnerabilidad que favorecen o facilitan que se desencadenen desastres cuando se presentan dichos fenómenos. La vulnerabilidad está también ligada a los procesos sociales que se desarrollan en las áreas propensas y usualmente tiene que ver con la fragilidad, la susceptibilidad o la falta de resiliencia de la población ante amenazas de diferente índole. Por lo tanto, la reducción de la vulnerabilidad debe hacer parte de los procesos de toma de decisiones, no sólo en el caso de reconstrucción posdesastre, sino también en la formulación de políticas públicas y la

planificación del desarrollo. Por esta razón, es necesario fortalecer el desarrollo institucional y estimular la inversión para la reducción de la vulnerabilidad con fines de contribuir al desarrollo sostenible de los países. Ahora bien, para corregir las causas del riesgo mediante acciones de intervención de la vulnerabilidad y mediante el fortalecimiento de la capacidad de gestión del riesgo en todas sus modalidades y ámbitos, es necesario identificar y reconocer el riesgo existente y las posibilidades de generación de nuevos riesgos desde la perspectiva de los desastres naturales. Esto implica medir el riesgo y monitorearlo con el fin de determinar la efectividad y eficiencia de las medidas de intervención. La evaluación y seguimiento del riesgo es un paso ineludible para su reconocimiento por parte de los diversos actores sociales y los órganos de decisión responsables de la gestión del riesgo. Es decir, es necesario hacer manifiesto el riesgo, socializarlo e identificar sus causas. En consecuencia, la evaluación y seguimiento debe realizarse utilizando herramientas apropiadas e idóneas que faciliten la comprensión del problema y orienten la toma de decisiones.

El objetivo de esta metodología es dimensionar la vulnerabilidad y el riesgo, usando indicadores relativos a escala nacional, para facilitar a los tomadores de decisiones de cada país tener acceso a información relevante que les permita identificar y proponer acciones efectivas de gestión del riesgo, considerando aspectos macroeconómicos, sociales, institucionales y técnicos. Este sistema de indicadores permite representar el riesgo y la gestión del riesgo a escala nacional, facilitando la identificación de los aspectos esenciales que lo caracterizan desde una perspectiva económica y social, así como también comparar estos aspectos o el riesgo mismo de los diferentes países estudiados.

La formulación de un sistema de indicadores de esta índole, para que sea de fácil utilización, debe estar basada en un número menor de indicadores o índices factibles que reflejen aspectos relevantes y orientadores del tipo de acción que se debe llevar a cabo por los tomadores de decisiones a nivel nacional. El alcance de esta metodología es de carácter nacional, sin embargo se ha realizado una evaluación a nivel subnacional mediante un enfoque metodológico y conceptual similar para ilustrar la aplicación del modelo a nivel regional y local. Se desarrolló una metodología que captura diferentes aspectos (económicos, sociales, de resiliencia, etc.) que permiten realizar un análisis de la situación de riesgo y de la gestión de riesgos en cada país. Se propone un sistema integrado que refleje de manera integral el riesgo y la gestión del riesgo en términos relativos y comparativos (Cardona 2001/2004). El sistema de indicadores aquí propuesto debe contribuir, a escala nacional, a:

- a) mejorar el uso y la presentación de información sobre riesgos, con el fin de ayudar a los responsables de formular políticas públicas a identificar las prioridades de inversión en reducción (prevención-mitigación) del riesgo y dirigir el proceso de recuperación después de un desastre;

- b) suministrar los medios necesarios para que puedan medir los elementos fundamentales de la vulnerabilidad de los países ante fenómenos naturales y su capacidad de gestión de riesgos, así como los parámetros comparativos para evaluar los efectos de sus políticas e inversiones en el desempeño de la gestión del riesgo; y
- c) fomentar el intercambio de información técnica para la formulación de políticas y programas de gestión de riesgo en la región.

De esta manera se contribuye a llenar un importante vacío de información para la toma de decisiones por parte de organismos nacionales relacionados con aspectos financieros, económicos, ambientales, de salud pública, ordenamiento territorial, vivienda e infraestructura. Los países ahora cuentan con una herramienta de monitoreo y promoción para el desarrollo de su capacidad de gestión de riesgos. Los países tienen la posibilidad de observar en diferentes momentos en el tiempo su posición relativa y compararse con otros países en la región.

### **3.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PREVALENTE, *IVP***

La vulnerabilidad es un aspecto clave para entender el riesgo desde la perspectiva de los desastres, y debe ser dimensionada de acuerdo con la escala espacial y social considerada, cualquiera que sea el modelo de representación. En esta sección se intenta identificar ciertas necesidades y opciones en relación con dicha evaluación, reconociendo desde el principio que es necesario hacer una clara especificación antes del análisis en relación con las estructuras sociales o los contextos particulares a los que se hace referencia en la aplicación del análisis de vulnerabilidad, considerando la inseguridad, la fragilidad, la resiliencia, etc. Aquí se presenta un análisis basado en la identificación de tres categorías o componentes de la vulnerabilidad –exposición y susceptibilidad física, fragilidad socio-económica y falta de resiliencia– (Cardona *et al.* 2003a).

Reconocer el riesgo mediante la caracterización de las condiciones de vulnerabilidad prevalente (Briguglio 2003b) reitera la relación del riesgo con el desarrollo (UNDP 2004) en la medida que las condiciones (de vulnerabilidad) que subyacen la noción de riesgo son, por una parte, problemas causados por un proceso de inadecuado crecimiento y, por otra, porque son deficiencias que se pueden intervenir mediante procesos adecuados de desarrollo. Por lo tanto, aunque los indicadores que aquí se proponen reflejan reconocidos aspectos del desarrollo (Holzmann y Jorgensen 2000; Holzmann 2001), aquí se presentan desde la perspectiva de capturar circunstancias que favorecen el impacto físico directo (exposición/susceptibilidad) y el impacto indirecto y en ocasiones intangible (fragilidad socio-económica y resiliencia) de los fenómenos peligrosos factibles (Masure 2003; Davis 2003).

Los indicadores para la descripción del grado de exposición, las condiciones socio-económicas predominantes y la falta de resiliencia deben formularse en forma consistente y reconociendo que su influencia explica que se presenten efectos socio-económicos y ambientales adversos cuando se materializa un fenómeno peligroso. Cada aspecto es un conjunto de indicadores que expresa situaciones, causas, susceptibilidades, debilidades o ausencias relativas del país, la región o la localidad que se valora, hacia las cuales se pueden orientar acciones de reducción del riesgo. Estos indicadores se seleccionaron teniendo en cuenta que reflejen lo mejor posible lo que se quiere representar y la calidad y confiabilidad del dato (Comfort 2003). El uso de variables que representan aspectos similares o la utilización repetida del mismo indicador dentro del sistema de indicadores significa que se les está otorgando un mayor peso con respecto a los demás (Davidson 1997; Cardona 2001; Briguglio 2003a). Entre los indicadores pueden detectarse correlaciones, dependencias y redundancia. Los indicadores que aquí se proponen se han identificado teniendo en cuenta que en lo posible se basen en cifras, índices, tasas o proporciones existentes que provienen de bases de información reconocidas o que existen en cada país.

La participación del *IVP* dentro del sistema de indicadores de riesgo se justifica en la medida en que la ejecución de acciones efectivas de prevención, mitigación, preparación y transferencia de riesgos hace que el riesgo disminuya y por el contrario, cuando estas acciones no existen o no son suficientemente efectivas el riesgo aumenta. Esta evaluación puede ser de utilidad para los Ministerios de vivienda y desarrollo urbano, ambiente, agricultura, salud y bienestar social, economía y planificación. Se ratifica la relación del riesgo con el desarrollo, pero se pone de manifiesto la conveniencia de explicitar las medidas de reducción de riesgos, dado que las acciones de desarrollo no reducen automáticamente la vulnerabilidad.

Este índice *IVP*, tal como lo indica la ecuación 3.1, se obtiene del promedio de los tres subíndices componentes de vulnerabilidad prevalente que reflejan exposición y susceptibilidad física *ES*, fragilidad socio-económica *SF* y falta de resiliencia *LR*

$$IVP = (IVP_{ES} + IVP_{SF} + IVP_{LR}) / 3 \quad (3.1)$$

Los subíndices de condiciones de vulnerabilidad prevalente para cada tipo de componente (*ES, SF, LR*) se obtienen mediante la ecuación

$$IVP_{c(ES,SF,LR)}^t = \frac{\sum_{i=1}^N w_i I_{ic}^t}{\sum_{i=1}^N w_i} \Big|_{(ES,SF,LR)} \quad (3.2)$$



donde,  $w_i$  es el peso asignado a cada indicador,  $I_{ic}^t$  corresponde a cada indicador normalizado, como lo expresan las ecuaciones 3.3 y 3.4, que representa las condiciones de vulnerabilidad para cada situación ( $ES, FS, FR$ ) respectivamente,

$$I_{ic}^t = \frac{x_{ic}^t - x_m}{\text{rango}(x_i^t)}, \text{ para } (ES, SF) \quad (3.3)$$

y

$$I_{ic}^t = \frac{x_M - x_{ic}^t}{\text{rango}(x_i^t)}, \text{ para } (LR)^6 \quad (3.4)$$

que representa las condiciones de vulnerabilidad para cada componente ( $ES, FS, FR$ ) respectivamente;

$x_{ic}^t$  es el dato original de la variable para el país  $c$  y el período  $t$ , y

$x_i^t$  es la variable que en conjunto se considera entre los países.

$x_M$  es el valor máximo para cada indicador definido para efectos de normalización;

$x_m$  corresponde al valor máximo para cada indicador definido para efectos de normalización.

En este caso, para cada subíndice se utilizan ocho indicadores. Cardona *et al.* (2004) describen el procedimiento y las alternativas de tratamiento numérico que se tendrán en cuenta para la evaluación de los índices que componen el *IVP* según país.

Mediante la técnica de la ecuación 3.4, los valores de resiliencia, que son inversamente proporcionales a la vulnerabilidad, se convierten en índices de falta de resiliencia.

### 3.2.1 Indicadores de exposición y susceptibilidad

En el caso de exposición y/o susceptibilidad física los indicadores que cumplen mejor esa función son los que reflejan población susceptible, activos, inversiones, producción, medios de sustento, patrimonios esenciales y actividades humanas (Masure 2003; Lavell 2003b). Es importante contar con datos de sus segmentos más susceptibles, como población pobre, infraestructura y asentamientos inseguros, cultivos frágiles, fuentes de trabajo inestables. También pueden considerarse como indicadores de este tipo los que reflejan tasas de crecimiento y densificación poblacional, agrícola o urbana.

La tabla 3.1 presenta un grupo de variables que se han identificado como indicadores generales de exposición física a una escala de centro urbano. Estas

---

<sup>6</sup> Mediante esta técnica se convierten los valores de resiliencia, que son inversamente proporcionales a la vulnerabilidad, en indicadores de falta de resiliencia.

variables capturan una noción del contexto sobre el cual habría impacto físico directo. Algunas de ellas reflejan de manera indirecta también una noción de susceptibilidad ante la acción de eventos peligrosos, cualquiera que sea la naturaleza y severidad de los mismos. “Estar expuesto y ser susceptible” es una condición necesaria para que exista riesgo. No obstante sería necesario establecer si la exposición es relevante ante cada tipo de amenaza factible, es posible admitir en una escala nacional que ciertas variables constituyen una situación comparativamente adversa, suponiendo que las amenazas naturales existen como un factor externo permanente sin precisar su caracterización.

**Tabla 3.1. Indicadores de exposición y susceptibilidad**

<b>Indicador</b>	<b>Relevancia</b>	<b>Fuente</b>
ES1. Crecimiento poblacional, tasa promedio anual en %	El aumento de la población, en general, significa mayor cantidad de personas expuestas a amenazas o que pueden llegar ocupar áreas propensas a sufrir efectos por la ocurrencia de fenómenos peligrosos.	UNDESA WB WB
ES2. Crecimiento urbano, tasa promedio anual en %	Un rápido proceso de urbanización por migración del campo a la ciudad o por arribo de personas desplazadas por conflictos significa problemas de ambiente urbano, dificultad para proveer servicios, vivienda insegura y ocupación de zonas propensas.	UNDESA WB GEO HABITAT
ES3. Densidad poblacional en personas por área (5 km <sup>2</sup> )	La concentración de población espacialmente favorece la afectación en conjunto de asentamientos humanos, en particular en áreas marginadas que usualmente coinciden con las zonas de mayor riesgo por inundación y deslizamientos.	UNEP/GRID GEO
ES4. Porcentaje de población pobre con ingresos menores a US\$ 1 diario PPP <sup>7</sup> .	Los estratos de población de más bajos ingresos son usualmente los más afectados cuando se materializa el riesgo. En zonas urbanas no pueden costearse sitios seguros y en áreas rurales pierden recurrentemente sus medios de sustento.	WB UNICEF
ES5. Stock de capital en millones de dólares por cada 1000km <sup>2</sup>	Los activos tanto del sector público como privado constituyen los elementos físicos expuestos como infraestructura, edificios, contenidos e inversiones que pueden sufrir el impacto directo de los fenómenos peligrosos que se presentan.	WB Ministerios de Hacienda o Planificación.

<sup>7</sup> Paridades de poder adquisitivo (*Purchasing power parity* en inglés). Conversión a dólares internacionales que tienen el mismo poder adquisitivo que tiene un dólar en los Estados Unidos (UNDP 2001).

**Tabla 3.1. Indicadores de exposición y susceptibilidad (continuación)**

ES6. Valor de importaciones y exportaciones de bienes y servicios en % del PIB	Las transacciones económicas que dan cuenta del volumen de actividades comerciales, del sector agrícola, industrial y de servicios, y que representan relaciones y flujos económicos que pueden afectarse por desastres.	WB
ES7. Inversión fija interna del gobierno en % del PIB	Los gastos de capital que realiza el gobierno representan inversiones en activos que incrementan el stock de capital y por lo tanto el volumen y el valor de elementos expuestos que pueden ser afectados.	WB
ES8. Tierra arable y cultivos permanentes en % del área del suelo	Los cultivos permanentes y el suelo factible de cultivar son activos sensibles a la acción de ciertos fenómenos como las inundaciones, deslizamientos o erupciones volcánicas o representan medios de sustento de poblaciones vulnerables.	FAO GEO

**Fuentes de información.** UNDESA: United Nations Department of Economical and Social Affairs; WB: World Bank; GEO: Group on Earth Observations; HABITAT; UNEP/GRID: United Nations Environment Programme / Global Resource Information Database; UNICEF: United Nations Children's Fund; FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

### 3.2.2 Indicadores de fragilidad socio-económica

La fragilidad socio-económica se representa mediante indicadores de pobreza, inseguridad humana, dependencia, analfabetismo, disparidad social, desempleo, inflación, dependencia, deuda y degradación ambiental. Son índices que reflejan debilidades relativas o condiciones de deterioro que agravarían los efectos directos causados por fenómenos peligrosos (Cannon 2003; Davis 2003, Wisner 2003). Aunque dichos efectos no necesariamente son aditivos y, en algunos casos, podrían considerarse redundantes o correlacionados, su influencia es de especial importancia a nivel económico y social (Benson 2003b).

La tabla 3.2 describe un grupo de variables que se han identificado como índices generales de fragilidad socio-económica a una escala de país. Estas variables captan en general una predisposición adversa e intrínseca de la sociedad ante la acción de fenómenos peligrosos, cualquiera que sea la naturaleza y severidad de estos eventos (Lavell 2003b; Wisner 2003). "Predisposición a ser afectado" es una condición de vulnerabilidad, aunque en rigor sería necesario establecer la relevancia de dicha predisposición ante cada tipo de amenaza factible. Sin embargo, al igual que en la exposición es posible admitir, en una escala nacional, que ciertas variables reflejan una situación comparativamente desfavorable, suponiendo que las amenazas naturales existen como un factor externo permanente sin precisar su caracterización.

**Tabla 3.2. Indicador de fragilidad socio-económica**

<b>Indicador</b>	<b>Relevancia</b>	<b>Fuente</b>
SF1. Índice de Pobreza Humana, HPI-1.	Las condiciones de inseguridad humana y sin acceso a servicios básicos reflejan la situación de mayor desprotección ante cualquier tipo de amenaza. Las personas en condiciones de pobreza extrema son las más gravemente afectadas por los desastres.	UNDP
SF2. Dependencia de población vulnerable de la población en capacidad de trabajar (15-64 años).	La proporción de personas de mayor edad y de niños con respecto a la población en capacidad de trabajar representa un segmento de la población que en general está en desventaja para enfrentar situaciones crisis extremas como los desastres.	WB
SF3. Desigualdad social, concentración del ingreso medida con base en índice de Gini.	La concentración del ingreso en un porcentaje menor de la población representa una condición de reducido “bienestar” y calidad de vida para la mayoría de la población, aunque exista crecimiento económico <sup>8</sup> . Ausencia de bienestar social y desarrollo humano significa ausencia de seguridad ante amenazas.	WB
SF4. Desempleo como porcentaje de la fuerza total de trabajo	No estar empleado es una situación de desventaja económica adicional de la población, debido a que la ausencia de ingresos significa una reducida capacidad de acceso a recursos y medios de protección.	ILO WB
SF5. Inflación, con base en el costo de los alimentos, en porcentaje anual.	La pérdida del poder adquisitivo es una desventaja económica que significa una reducción adicional de la capacidad de la población para acceder a recursos y refleja problemas económicos que inciden de manera macro en la respuesta de la sociedad.	UNICEF WB
SF6. Dependencia del crecimiento del PIB de la agricultura, en porcentaje anual.	La dependencia del crecimiento económico del sector agrícola refleja el impacto a la sociedad, en general, por la afectación de la producción agrícola como resultado de los recurrentes eventos que genera la variabilidad climática y el cambio global ambiental.	WB

<sup>8</sup> No es suficiente crecer para ampliar el bienestar social y necesariamente hay que acudir a políticas redistributivas (CID 2003; Barreto 2003).

**Tabla 3.2. Indicador de fragilidad socio-económica (continuación)**

Indicador	Relevancia	Fuente
SF7. Servicio de la deuda en porcentaje del PIB.	Alto endeudamiento significa un bajo margen de recursos propios y la necesidad de aumentar la deuda para cubrir la recuperación después de un desastre. En caso de existir restricciones para asumir nuevas obligaciones la deuda se podría volver insostenible y existiría la posibilidad de no recuperarse.	WB
SF8. Degradación antropogénica del suelo (GLASOD)	La degradación del suelo inducida en forma antrópica refleja el nivel de deterioro ambiental y de uso inadecuado de los recursos naturales. Este deterioro exacerba la generación de amenazas de origen socio-natural y reducción del amortiguamiento de fenómenos extremos.	FAO/UNEP GEO

**Fuentes de información.** UNPD: United Nations Development Programme; WB: World Bank; ILO: International Labour Organization; UNICEF: United Nations Children's Fund; FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations; UNEP: United Nations Environment Programme; GEO: Group on Earth Observations.

### 3.2.3 Indicadores de falta de resiliencia

Como factor de vulnerabilidad, la falta de resiliencia puede representarse en cada nivel mediante el tratamiento complementario o invertido ([Inv] en la Tabla 3.3) de un amplio número de indicadores relacionados con el nivel de desarrollo humano, el capital humano, la redistribución económica, la gobernabilidad, la protección financiera, la percepción colectiva, la preparación para enfrentar situaciones de crisis y la protección ambiental. Este conjunto de indicadores, por sí solos y particularmente desagregados en el nivel local, podrían facilitar la identificación y la orientación de las acciones que se deben promover, fortalecer o priorizar para lograr un mayor nivel de seguridad (Cannon 2003; Davis 2003; Lavell 2003a/b; Wisner 2003). Su participación dentro del sistema de indicadores de riesgo se justifica en la medida en que la ejecución de acciones efectivas de prevención, mitigación, preparación y transferencia de riesgos hace que el riesgo disminuya y por el contrario, cuando estas acciones no existen o no son suficientemente efectivas el riesgo aumenta.

La tabla 3.3 describe un grupo de variables que se han identificado como indicadores generales de resiliencia a una escala de país. Estas variables captan de manera macro la capacidad para recuperarse o absorber el impacto de los fenómenos peligrosos, cualquiera que sea la naturaleza y severidad de estos eventos (Briguglio 2003b). “No estar en capacidad” de enfrentar con solvencia desastres es una condición de vulnerabilidad, aunque en rigor sería necesario establecerla ante cada tipo de amenaza factible. No obstante, al igual que en la exposición y la fragilidad socio-económica es posible admitir, en una escala nacional, que ciertas variables sociales y económicas (Benson 2003b) reflejan una situación comparativamente desfavorable, suponiendo que las amenazas naturales existen como un factor externo permanente sin precisar su caracterización.

**Tabla 3.3. Índices de falta de resiliencia**

Índice	Relevancia	Fuente
LR1. Índice de Desarrollo Humano, DHI [Inv]	Representa el nivel desarrollo de la población teniendo en cuenta los promedios de longevidad, alfabetización de las personas, su escolaridad y el ingreso en paridades de poder adquisitivo per capita. A mayor desarrollo mayor es la capacidad para reducir el riesgo y enfrentar los desastres.	UNDP
LR2. Índice de desarrollo relacionado con genero, GDI [Inv]	Ajusta el grado desarrollo para reflejar las desigualdades entre hombres y mujeres en las mismas dimensiones del IDH. Representa capacidad de la mujer como capital humano. Su mayor participación e igualdad significan mayor capacidad de la población frente a las adversidades.	UNDP
LR3. Gasto social; en pensiones, salud y educación, en porcentaje del PIB [Inv]	Significa recursos orientados al mejoramiento de la seguridad de la población más pobre y vulnerable. Un adecuado y amplio cubrimiento de los programas de inversión social reduce la fragilidad de las personas que son más afectadas por desastres.	WB
LR4. Índice de Gobernabilidad <sup>9</sup> [Inv]	Representa eficiencia de la gestión pública, legitimidad, transparencia y democratización. Una mayor gobernabilidad social significa mejor institucionalidad, legislación, equidad e integración de la gestión del riesgo en la planificación del desarrollo.	BID, TI, WB
LR5. Aseguramiento de infraestructura y vivienda en porcentaje del PIB. [Inv]	Una adecuada cobertura de las pérdidas potenciales en la vivienda y los bienes públicos y privados por parte de la industria de seguros significa una mayor protección financiera de la población frente a las amenazas factibles.	
LR6. Televisores por cada 1000 habitantes [Inv]	La recepción de información con tecnología audiovisual facilita la divulgación eficiente, oportuna y continua de conocimientos. Una adecuada divulgación y cubrimiento mejora la comprensión sobre el riesgo y los desastres e influye positivamente en una mejor percepción y toma de conciencia de la población.	WB

<sup>9</sup> Se escalan seis indicadores propuestos por Daniel Kaufmann y colaboradores que se consideran dimensiones de la gobernabilidad: Voz y Responsabilidad; Estabilidad Política; Ausencia de Violencia; Eficacia del Gobierno; Calidad Reguladora; Cumplimiento de la Ley; y Control de la Corrupción (Kaufmann et al 2003).

**Tabla 3.3. Índices de falta de resiliencia (continuación)**

LR7. Camas hospitalarias por cada 1000 habitantes [Inv]	Desde el punto de vista de respuesta en caso de emergencia contar con una adecuada capacidad e infraestructura del sector salud refleja una mayor capacidad para atender la población cuando se presentan desastres y emergencias.	WB
LR8. Índice de Sostenibilidad Ambiental <sup>10</sup> , ESI [Inv]	Sostenibilidad ambiental significa un buen desempeño en obtener unas buenas condiciones ambientales para el futuro. La gestión ambiental influye positivamente en la reducción de la vulnerabilidad y la prevención de desastres.	WEF

Fuentes de información. UNPD: United Nations Development Programme; WB: World Bank; IADB: Inteamerican Development Bank, TI: Transparency International; WEF: World Environment Foundation.

### 3.3. ÍNDICE DE DESASTRES LOCALES, *IDL*

El objetivo de este índice es percibir cuan propenso es un país a la ocurrencia de desastres menores y el impacto acumulativo que causa este tipo de eventos al desarrollo local. Este índice intenta representar la variabilidad y dispersión espacial del riesgo al interior del país o unidad de estudio como resultado de eventos menores y recurrentes. Para la construcción de este índice es necesario contar con un registro de eventos (fenómenos) y sus efectos (muertos, heridos, pérdidas) por municipio.

Este enfoque considera la importancia que para un país tiene la ocurrencia frecuente de eventos de escala menor que, rara vez entran en las bases de datos de desastres internacionales e, incluso nacionales, pero que plantea problemas de desarrollo serios y acumulativos para el nivel local y, dado su probable impacto generalizado, para el país como un todo. Dichos eventos, que pueden ser el resultado de procesos socio-naturales asociados con el deterioro ambiental (Lavell 2003a/b), están relacionados con fenómenos persistentes o crónicos, como deslizamientos, avalanchas, inundaciones, incendios forestales, sequías y también terremotos, huracanes y erupciones volcánicas de menor escala.

Para el cálculo de este índice es necesario contar con información referente a los efectos, por ejemplo, muertos, heridos y área destruida en los diferentes municipios o regiones del país, discriminados por los tipos de eventos: sismos, inundaciones, erupciones, entre otros. Algunos fenómenos de lento proceso, como la sequía o procesos de deterioro ambiental, puede ser difícil captarlos en forma deductiva o inductiva, por lo cual no pueden ser tratados de igual forma. En cualquier caso diversos supuestos tendrán que

<sup>10</sup> Algunos índices e indicadores no han sido estimados para todos los períodos que se esperan evaluar con fines comparativos. Se optará por mantener valores constantes que no afecten la agregación para la evaluación de los respectivos subíndices de vulnerabilidad prevalente.

hacerse con el mejor criterio posible en el proceso de evaluación de los indicadores, debido a que cierta información no se podrá encontrar con la resolución y la calidad deseable. No obstante, los resultados que se obtengan podrán facilitar la identificación y la justificación de acciones relevantes de gestión de riesgo.

El índice de desastres locales,  $IDL$ , corresponde a la adición de tres subíndices de desastres locales, teniendo en cuenta muertos  $K$ , afectados  $A$ , y pérdidas  $L$

$$IDL = IDL_K + IDL_A + IDL_L \quad (3.5)$$

Los subíndices de desastres locales<sup>11</sup> para cada tipo de variable  $(K,A,L)$  se obtienen como

$$IDL_{(K,A,L)} = \left( 1 - \sum_{e=1}^E \left( \frac{IP_e}{IP} \right)^2 \right) \lambda \Big|_{(K,A,L)} \quad \text{donde} \quad IP_{(K,A,L)} = \sum_{e=1}^E IP_{e(K,A,L)} \quad (3.6)$$

donde  $\lambda$  es un coeficiente de escalamiento e  $IP_e$ , es el Índice de Persistencia de los efectos  $(K,A,L)$  causados por cada tipo de evento  $e$ ;

$$IP_{e(K,A,L)} = 100 \sum_{m=1}^M CL_{em(K,A,L)} \quad (3.7)$$

En este caso los eventos son cuatro: i) deslizamientos y flujos, ii) fenómenos sismo-tectónicos, iii) inundaciones y tormentas y iv) otros eventos.  $CL_{em}$  es el Coeficiente de Localización de los efectos  $x(K,A,L)$  causados por cada tipo de evento  $e$  en cada municipio  $m$  del país

$$CL_{em(K,A,L)} = \frac{x_{em} x_{eC}}{x_m x_C} \eta \Big|_{(K,A,L)} \quad (3.8)$$

donde los valores de la variable  $x$  en consideración, correspondiente a  $K$ ,  $A$  o  $L$ , son:

$x_{em}$  el valor  $x$  causado por el tipo evento  $e$  en el municipio  $m$ ;

$x_m$  la suma total de  $x$  para todos los tipos de eventos considerados en el municipio  $m$ ;

$x_{eC}$  el valor de  $x$  para el tipo de evento  $e$  en el todo el país;

$x_C$  la suma total de  $x$  en todo el país, y

---

<sup>11</sup> El valor de estos subíndices aumenta si existe una distribución uniforme de la variable entre los municipios y los diferentes tipos de evento. Así, los valores más bajos significan que hay alta disparidad y que la variable está concentrada. En el caso de que  $\lambda$  sea igual a  $400/3$ , el valor máximo del subíndice es 100, lo que significa que la variable es similar para todos los tipos de evento y que su distribución es similar entre los municipios.



$\eta$  es la relación entre el total de tipos de evento  $E$  y el total de municipios del país  $M$ , en los cuales se ha presentado algún efecto.

Estos coeficientes dan cuenta del peso relativo de los efectos causados por los diferentes tipos de evento en cada municipio con respecto al país, por lo que los Índices de Persistencia captan simultáneamente, para el período de análisis que se considere (un año, cinco años, etc.), la incidencia –o concentración relativa– y la homogeneidad de los efectos a nivel local de cada tipo de evento con respecto a los demás municipios y tipos de evento en todo el país.

Es importante indicar que los índices y coeficientes antes mencionados no son sensibles a que un país tenga un mayor número de desastres, municipios, tipos de evento o un mayor tamaño. Esto facilita que las comparaciones entre países sean independientes de ese tipo de características. Por otra parte, cada subindicador puede ser de interés internamente en cada país dado que refleja la persistencia de efectos por tipo de evento y su localización en cada municipio.

Paralelamente, se propone también un índice  $IDL'$  que da un contexto a  $IDL$ . Este índice, mide la concentración de las pérdidas agregadas a nivel municipal para todos los eventos en el país<sup>12</sup>

$$IDL' = \frac{\sum_{i=1}^{M-1} q_i}{2 \sum_{i=1}^{M-1} p_i} \quad (3.9)$$

donde

$$q_i = \frac{Z_i}{Z_M} \quad (3.10)$$

cuyos valores se obtienen de la siguiente forma,

$$Z_i = \sum_{j=1}^i x_{mLj} m_j \quad \text{y} \quad Z_M = \sum_{j=1}^M x_{mLj} m_j \quad (3.11)$$

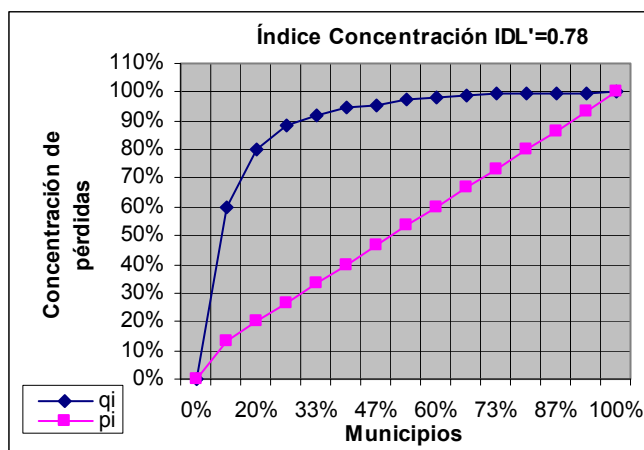
La aplicación de esta ecuación requiere el ordenamiento previo de los valores de  $x_{mL}$  en forma descendente, manteniendo la correspondencia con el respectivo municipio  $m$ , y

$$p_i = \frac{N_i}{N_M} \quad (3.12)$$

---

<sup>12</sup> El valor de este índice varía entre 0.5, que significa distribución uniforme y 1.0 que significa alta concentración.

es la relación que resulta del número de orden del municipio con respecto al total de municipios del país. La figura 3.1 muestra un ejemplo hipotético de las relaciones antes mencionadas. La formulación de estos índices tiene especial interés porque permite comparar de manera razonable países grandes y pequeños.



*Figura 3.1. Alta concentración de pérdidas en muy pocos municipios al ordenar la agregación de pérdidas de mayor a menor.*

### 3.4. ÍNDICE DE DÉFICIT POR DESASTRE, *IDD*

Este indicador se relaciona con la pérdida económica que el país analizado podría sufrir cuando se enfrenta a la ocurrencia de un evento catastrófico y sus implicaciones en términos de los recursos que se requieren para atender la situación. Esto implica un pronóstico basado en evidencias históricas y científicas y la evaluación del valor de los elementos probablemente afectados. Esto implica definir un referente arbitrario en términos de severidad o de período de recurrencia de los eventos que caracterizan la amenaza o peligro. Este componente del riesgo debe modelizarse de la manera más objetiva posible en términos físicos, dentro de las restricciones de información y conocimiento existentes. Esto significa que es necesario definir un nivel de amenaza factible para el cual se espera determinar el escenario de riesgo, por lo tanto al definir ese nivel de amenaza se introduce el marco temporal de referencia del análisis. En otras palabras, al igual que en la industria aseguradora se define un nivel de referencia para estimar pérdidas factibles, conocido como la pérdida máxima probable, PML (en inglés) (ASTM 1999, Ordaz 2000), cuyo período de retorno es arbitrariamente definido, en este caso también sería necesario definir, el que para este modelo se denominará el Evento Máximo Considerado, *EMC*, para el cual es necesario planificar las acciones de intervención correctiva o prospectiva que permitan reducir sus posibles consecuencias para el país o unidad respectiva.

Teniendo en cuenta lo anterior se puede concluir que aun cuando existan diferentes amenazas que puedan causar efectos adversos a un país o una de sus regiones, su impacto bajo un mismo referente de tiempo no será el mismo. Se puede construir un indicador que represente la demanda máxima considerable que se tendría, por ejemplo en términos socio-económicos, en el caso del escenario más crítico que cualquiera de las amenazas causarían; teniendo en cuenta el *EMC* para la unidad de análisis. Esta situación por lo general sería causada por un fenómeno mayor catastrófico o extraordinario como un sismo severo, un fuerte huracán, un tsunami notable, una erupción volcánica o una inundación extrema. Dicha selección no necesariamente implica hacer estudios de amenaza detallados para cada tipo de fenómeno sino para uno o dos, dado que en muchos casos el fenómeno que puede causar el *EMC* puede identificarse fácilmente.

El enfoque que aquí se propone está fundamentado en un modelo probabilista de riesgo, similar a los que se utilizan con fines de transferencia y retención de pérdidas. Por esta razón se diferencia sustancialmente del método que se empleó para estimar el Índice de Riesgo de Desastre, IRD, del PNUD (2004), y de los aplicados en la mayoría de modelos propuestos para estimar el impacto de los desastres en el crecimiento económico. Se optó por este enfoque debido a que actualmente existen serias controversias teóricas acerca de si los desastres causan o no un impacto significativo al desarrollo económico. De acuerdo con los resultados obtenidos por Albala-Bertrand (1993/2002), los desastres usualmente afectan los capitales menos productivos y el trabajo menor calificado, por lo que causan profundas consecuencias sociales pero pocos efectos a la macroeconomía de un país. Modelos similares han sido formulados por IIASA y Freeman *et al.* (2002a/b). Por su parte Benson (2003a) y la CEPAL (2003), entre otros, argumentan que en el largo plazo dicho impacto puede ser muy importante para ciertas economías.

Para la construcción de este índice se propone el cálculo de la relación entre la demanda de fondos económicos contingentes o pérdida económica directa que debe asumir el sector público,  $L_R^P$ , y la resiliencia económica presente de dicho sector,  $R_E^P$ , correspondiente a la disponibilidad o acceso a fondos internos o externos del país para restituir el inventario físico afectado<sup>13</sup>

$$IDD = \frac{L_R^P}{R_E^P} \quad (3.13)$$

donde:

---

<sup>13</sup> Un enfoque similar ha sido propuesto por Freeman *et al.* (2002b) que afirman 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.

$$L_R^P = \varphi L_R \quad (3.14)$$

$L_R^P$  corresponde al impacto económico directo máximo, en términos probabilistas, en los activos públicos y privados que sean de responsabilidad del gobierno<sup>14</sup>. Este valor es una fracción  $\varphi$  del impacto directo total,  $L_R$ , el cual está asociado al *EMC* que tendrá una intensidad,  $I_R$ , y cuya tasa anual de excedencia (o período de retorno,  $R$ ) será definida igual para todos los países con fines de comparación. El valor de la pérdida para el inventario de capital del sector público es una fracción  $\varphi$  de la pérdida causada sobre todos los bienes afectados.

El impacto del *EMC* se determina mediante un modelo de riesgo como se explica más adelante y determina las pérdidas físicas o de valor sobre la riqueza física y humana de una región. Dicho efecto negativo se puede dividir en términos de las reservas de capital público y privado que se puede estimar dependiendo de la disposición de datos de inversión pública y privada. La distribución de las pérdidas netas de acuerdo con la participación pública y privada puede verse en Cardona *et al.* (2004).

Se asume que todos los bienes expuestos a desastres están concentrados en una región geográfica de tamaño limitado (digamos, una ciudad) que permite el supuesto que todo en esta área está concentrado en un punto en el espacio y que todo es simultáneamente afectado con la misma intensidad. Esta pérdida puede ser valorada como sigue:

$$L_R = E V(I_R F_S) K \quad (3.15)$$

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 asociado al período de retorno seleccionado;
- $F_S$  es un factor que corrige intensidades que dan razón de efectos de sitios locales;
- $K$  es un factor que corrige la incertidumbre en la función de vulnerabilidad.

Como se puede observar, esta evaluación de pérdida incluye todos los componentes clásicos del análisis del riesgo: la amenaza –implícita en  $I_R$ –, la

---

<sup>14</sup> En caso de un evento mayor posiblemente el gobierno tendrá que proponer subvenciones y créditos blandos para apoyar a los estratos socio-económicos más pobres que se han quedado sin vivienda o han perdido sus medios de sustento y para contrarrestar el desempleo adicional que se presente por la posible paralización de los diferentes sectores productivos.

vulnerabilidad –dada por la función  $V(\cdot)$ – y el valor de la propiedad expuesta,  $E$ . Entonces,  $L_R$ , tal como está definido en la ecuación 3.15, es el valor exacto de la pérdida asociada a un período de retorno dado si un valor apropiado de  $K$  es utilizado.

El factor  $E$  en la ecuación 3.15 se refiere al valor monetario de toda la propiedad expuesta al daño en el área geográfica que se analiza. Esto incluye, por ejemplo, edificios, cultivos, industria e infraestructura. De manera ideal, se debería incluir en esta cifra toda la propiedad expuesta en el área bajo análisis. Sin embargo, esto sería imposible (y podría ser innecesario) en el alcance de esta investigación. Por esta razón, se considera, como lo sugiere Lavell (2003b), que solamente es necesario tener en cuenta los bienes expuestos más importantes<sup>15</sup>.

La pérdida  $L_R$  se podría desagregar por sectores según el impacto directo que cada uno sufra, es decir la industria, el comercio, el transporte, los propietarios de vivienda, etc. Sin embargo, como se mencionó, con fines de simplificación sólo se tendrá en cuenta en este modelo el posible déficit para el sector público. El gobierno, aparte de ser propietario tiene responsabilidades de reactivación económica, de protección de los estratos socio-económicos más pobres y del público que pierde su empleo. Dependiendo del tipo de  $EMC$ , que podrá ser un huracán, un terremoto, una erupción volcánica o una inundación extrema se define dicho impacto, considerando como referente sólo el caso de la máxima pérdida agregada para el país o unidad de estudio y la cual se considerará como un valor envolvente superior a cualquier otro valor causado por otros eventos que no alcanzan a ser el  $EMC$ <sup>16</sup>.

La resiliencia económica,  $R_E^P$ , esta definida por,

$$R_E^P = \sum_{i=1}^n F_i^P \quad (3.16)$$

donde  $F_i^P$  representa los posibles fondos internos o externos para hacer frente al daño a los que 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:

---

<sup>15</sup> En el caso del sector público pueden ser muy importantes vías, puentes, plantas de energía, hospitales, escuelas, aeropuertos, puertos, edificios de oficinas, etc. Incluso en el caso de concesiones (operación de bienes públicos por parte del sector privado), donde la propiedad sigue siendo del gobierno, o de infraestructura de los gobiernos subnacionales, cuya recuperación, no obstante los procesos de descentralización existentes, dependería en parte del nivel nacional.

<sup>16</sup> Puede ocurrir, por ejemplo, que el  $EMC$  es un terremoto que podría tener un efecto mínimo en cultivos. Otro evento importante, como una inundación extrema, podría causar efectos mayores en cultivos pero no alcanzaría a ser el  $EMC$ .

$F_1^P$  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 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. Cardona *et al.* (2004) presentan un

método simple para estimar los recursos derivados de un impuesto a transacciones financieras.<sup>17</sup>

$F_5^P$  es la evaluación 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, como se explica en Cardona *et al.* (2004). 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. Cardona *et al.* (2004) explican cómo se puede hacer un análisis de la situación financiera externa del país.

$F_7^P$  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

---

<sup>17</sup> En algunos casos podría considerarse factible la introducción de un impuesto transitorio como se hizo en Colombia para financiar los proyectos de reconstrucción después del terremoto que afectó la zona cafetera en 1999.

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. Cardona *et al.* (2004) ilustran cómo puede estimarse aproximadamente el acceso a crédito interno.

Es importante indicar que se propone esta evaluación considerando las restricciones o valores factibles en cada caso y sin considerar los posibles costos asociados por acceder a algunos de estos fondos.

De manera complementaria y para facilitar poner en contexto el *IDD* se ha propuesto un indicador colateral adicional *IDD'* que ilustra qué porción de los gastos de capital 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, que se obtiene de la ecuación 3.17.

$$IDD' = \frac{L_y^P}{E_C^P} \quad (3.17)$$

La pérdida anual esperada, que se calcula de la manera como se describe en Cardona *et al.* (2004), se define como el valor esperado de la pérdida que se tendría en un año cualquiera. Este valor es equivalente a la inversión o ahorro promedio anual que tendría que hacer el país para cubrir aproximadamente sus pérdidas por desastres extremos.

Estos índices permitirán 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 presupuestal y financiera (Freeman *et al.* 2002b). Aunque no se llegara a presentar un déficit el reconocimiento del impacto potencial a la economía nacional permitiría ratificar la necesidad de explorar medidas económicas como el incentivo del aseguramiento de los inmuebles públicos y privados, el establecimiento de fondos de reservas con base en criterios sanos de retención de pérdidas, la 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 potenciales y, por lo tanto, el impacto económico futuro de los desastres.

### 3.5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

#### 3.5.1 Evaluación a nivel nacional: Colombia

Se aplicó este sistema de indicadores para evaluar el riesgo en doce países de Latinoamérica y el Caribe: Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Jamaica, México y Perú. En esta



sección se presenta el caso de Colombia como un ejemplo completo de la aplicación del sistema de indicadores para el nivel nacional.

### 3.5.1.1. Índice de vulnerabilidad prevalente, IVP

Para el cálculo de este índice se utilizaron los indicadores mostrados en las tablas 3.1 a 3.3 para los componentes de exposición y susceptibilidad, fragilidad socio-económica y falta de resiliencia, respectivamente. La información fue obtenida de las bases de datos de los organismos nacionales e internacionales mencionados en las mismas tablas, para los años 1985, 1990, 1995 y 2000. Se establecieron máximos y mínimos para cada indicador para normalizarlos y hacerlos comparables entre sí. Los pesos para cada índice fueron asignados utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) explicado en el Anexo A; dichos pesos se muestran en la tabla 3.4 para los indicadores en cada componente.

Aplicando la metodología de cálculo detallada en la sección 3.2 se obtuvieron índices de vulnerabilidad prevalente para Colombia; estos resultados se pueden observar en la tabla 3.5.

**Tabla 3.4. Pesos de los índices de vulnerabilidad prevalente en Colombia**

Exposición y susceptibilidad		Fragilidad socio-económica		Falta de resiliencia	
Indicador	Peso	Indicador	Peso	Indicador	Peso
ES1	5	SF1	20,9	LR1	21,9
ES2	12,4	SF2	8,5	LR2	10,5
ES3	9	SF3	16,4	LR3	13,6
ES4	25,4	SF4	12,5	LR4	15
ES5	12,3	SF5	9,4	LR5	12,9
ES6	11,7	SF6	9,6	LR6	3,7
ES7	12,4	SF7	9,6	LR7	9,2
ES8	11,8	SF8	13	LR8	13,2

**Tabla 3.5. Evaluación de los índices de vulnerabilidad prevalente en Colombia**

	<i>IVP<sub>ES</sub></i>	<i>IVP<sub>SF</sub></i>	<i>IVP<sub>LR</sub></i>	<i>IVP</i>
<b>1985</b>	22,00	26,79	59,94	36,24
<b>1990</b>	21,7	27,68	59,96	36,45
<b>1995</b>	26,09	59,96	57,52	36,55
<b>2000</b>	18,28	36,45	54,59	34,59

El índice de vulnerabilidad prevalente por exposición y susceptibilidad, *IVP<sub>ES</sub>*, no sufre grandes cambios en el tiempo, pero en términos generales es el que tiene valores menores. Por el contrario, el índice de vulnerabilidad prevalente por fragilidad socioeconómica, *IVP<sub>SF</sub>*, presenta grandes saltos en el tiempo y, en general, su valor ha aumentado entre 1985 y 2000. El componente

de falta de resiliencia,  $IVP_{LR}$ , tiene un comportamiento muy estable en el tiempo y es el que tiene los valores más altos. Con estos resultados puede decirse que la falta de resiliencia es el aspecto que contribuye en más alto grado a aumentar la vulnerabilidad prevalente del país.

En la última columna de la tabla 3.5 puede observarse la evaluación en el tiempo del índice de vulnerabilidad prevalente,  $IVP$  que, como se mencionó en la sección 3.2, es el resultado de un promedio entre sus índices componentes. Puede verse que presenta un comportamiento muy estable y solo entre 1995 y 2000 tuvo un pequeño descenso.

### **3.5.1.2. Índice de desastres locales, IDL**

Los componentes de este índice se calculan, en el caso de países de América Latina y el Caribe, utilizando la base de datos DesInventar de la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, que tiene registros de la mayoría estos países discriminados por tipos de eventos, tipos de efectos a nivel municipal, así como también acumulaciones y estadísticas temporales y espaciales (La RED 2002). Esta base de datos de desastres locales (por municipio) se ha construido en los últimos diez años y cuenta con cerca de 80 000 registros de 16 países donde aproximadamente el 70% de los mismos corresponde a eventos ocurridos después de 1970. En general, esta base de datos registra los efectos de la mayoría de eventos recurrentes que son resultado de la variabilidad climática y el cambio global ambiental. Sin embargo, algunos fenómenos de lento proceso, como la sequía o procesos de deterioro ambiental, pueden ser difíciles de captar en forma deductiva o inductiva tanto por el *IDL* como el *IDD*, por lo que hay que darles un tratamiento diferente.

Dado que, de acuerdo con las denominaciones e intereses de cada país, existen muchos tipos de eventos en la base de datos DesInventar, estos se clasifican en seis categorías: fenómenos geodinámicos externos e internos, hidrológicos, atmosféricos, tecnológicos y biológicos. Sin embargo, para simplificar, a los fenómenos geodinámicos externos se les denomina deslizamientos y flujos y a los fenómenos geodinámicos internos se les identifica como eventos sismo-tectónicos. Se agrupan los fenómenos hidrológicos con los atmosféricos y se les atribuye la denominación de inundaciones y tormentas e igualmente se agrupan los fenómenos tecnológicos y biológicos y se les identifica como otros eventos. De esta manera se utilizan cuatro tipos de eventos.

La base de datos DesInventar presenta datos de diversa índole pero su revisión cuidadosa muestra que la información más confiable es el número de muertos, las viviendas destruidas y el número de afectados (La RED 2002). También hay información que se considera relativamente completa acerca de los heridos, damnificados, viviendas y hectáreas de cultivos afectadas. El resto de la información que contiene sobre efectos en los diferentes sectores, tipos de infraestructura, industria y servicios es muy poco fiable.

Ahora bien, con el fin de agregar en una sola variable de daño físico directo las viviendas y las hectáreas de cultivos, se acordó expresar los daños en pérdidas en dólares equivalentes promedio para cada período de análisis. Para esta aproximación, la reposición de cada vivienda destruida corresponde a una vivienda de interés social según el patrón existente en cada país (número de metros cuadrados), en el período de análisis y el valor por metro cuadrado de vivienda de interés social corresponde al valor de un salario mínimo legal promedio en el mismo período. Por otra parte, el valor de una hectárea de cultivos se determina con base en un precio promedio ponderado de las áreas de cultivos usualmente afectadas, según el criterio de expertos de cada país en el período de análisis.

La información de DesInventar permite obtener las estimaciones anteriores para todos los municipios o localidades de cada país, por lo que es posible normalizar cada valor teniendo en cuenta la superficie (en kilómetros cuadrados) de cada municipio. Los valores normalizados permiten tener una noción local de la concentración de efectos y son estos los valores que deben utilizarse para la construcción de los indicadores agregados nacionales.

En resumen, para el cálculo del *IDL* se adecua la base de datos DesInventar para procesar la información de tres variables: i) muertos, ii) afectados y iii) pérdida directa –representada en una valoración económica de las viviendas y cultivos destruidos– para los siguientes tipos de evento: i) deslizamientos y flujos, ii) fenómenos sismo-tectónicos, iii) inundaciones y tormentas y iv) otros eventos. Con esto y siguiendo la metodología explicada en la sección 3.3 se estudiaron Colombia y los otros diez países mencionados de América Latina y el Caribe. Los resultados obtenidos para Colombia para los períodos estudiados se muestran en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6. Resultados obtenidos del *IDL* para Colombia**

	<i>IDL<sub>K</sub></i>	<i>IDL<sub>A</sub></i>	<i>IDL<sub>L</sub></i>	<i>IDL</i>	<i>IDL'</i>
<b>1981-1985</b>	14,085	4,059	7,976	26,121	0,966
<b>1986-1990</b>	60,139	8,388	13,007	81,536	0,910
<b>1991-1995</b>	81,702	9,202	15,928	106,833	0,908
<b>1996-2000</b>	90,495	13,044	40,564	144,105	0,907

En la evaluación del *IDL* se estudiaron cuatro períodos de tiempo, 1981-1985, 1986-1990, 1991-1995 y 1996-2000. De los resultados obtenidos se observa que, en el último período se presentan los mayores valores para el *IDL* y sus componentes, lo que indica que, entre 1996 y 2000, Colombia se vio más afectada por desastres naturales, y se presentó una mayor uniformidad de los efectos (muertos, afectados y pérdidas) en los municipios del país. El valor del *IDL'* en todos los períodos estudiados indica una alta concentración; es decir que pocos municipios concentran la mayoría de los efectos.

### 3.5.1.3. Índice de déficit por desastre, *IDD*

En la evaluación de la evolución del índice de déficit por desastre se tuvieron en cuenta los años 1980, 1985, 1990, 1995 y 2000. En esta evaluación se han tenido en cuenta: el pago de seguros y reaseguros que aproximadamente recibiría el país por los bienes y la infraestructura asegurada del gobierno ( $F_1^P$ ); las reservas disponibles en fondos para desastres con los que cuenta el país en el año de la evaluación ( $F_2^P$ ); los valores que pueden recibirse como ayudas y donaciones, tanto públicas como privadas, nacionales como internacionales ( $F_3^P$ ); el valor posible de nuevos impuestos que el país podría recaudar adicionalmente en caso de un desastre mayor ( $F_4^P$ ); la estimación del margen de reasignación presupuestal que tiene el país, que usualmente corresponde al margen de gastos discrecionales del gobierno ( $F_5^P$ ); el valor factible de crédito externo que puede obtener el país con los organismos multilaterales y en el mercado de capitales en el exterior ( $F_6^P$ ); 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 ( $F_7^P$ ).

La tabla 3.7 indica los resultados obtenidos de *IDD* y su índice complementario *IDD'* para Colombia. Para esta evaluación se tomaron en cuenta eventos de 50, 100 y 500 años de período de retorno. Un *IDD* mayor que 1.0 significa incapacidad económica del país para hacer frente a desastres extremos, aun cuando aumente al máximo su deuda. A mayor *IDD* mayor es el déficit.

Tabla 3.7. Evaluación del *IDD* para Colombia

	<i>IDD</i> <sub>50</sub>	<i>IDD</i> <sub>100</sub>	<i>IDD</i> <sub>500</sub>	<i>IDD'</i> <sub>GC</sub>
<b>1980</b>	0.47	1.04	4.58	4.40%
<b>1985</b>	0.80	1.71	6.36	8.83%
<b>1990</b>	0.81	1.73	6.41	9.49
<b>1995</b>	0.46	1.01	4.50	4.54%
<b>2000</b>	0.61	1.33	5.40	5.90%

Los índices de la tabla 3.7 muestran la incapacidad económica del país para hacer frente a desastres causados por eventos de 100 y 500 años de período de retorno. Los valores del *IDD'*<sub>GC</sub> dan una idea de la dimensión del problema presupuestal, el pago anual de sus desastres futuros significaría, según la evaluación para el año 2000, el 5.9% de dichas inversiones.

### 3.5.2 Comparación entre diferentes países de América Latina y el Caribe

#### 3.5.2.1 *Índice de vulnerabilidad prevalente, IVP*

A continuación se presentan los resultados de la aplicación de la metodología explicada en la sección 3.2 a la evaluación de algunos países de América Latina y el Caribe. La figura 3.2 ilustra los valores del *IVP* para estos países cada cinco años desde 1985 a 2000, ordenados ascendentemente para el año 2000.

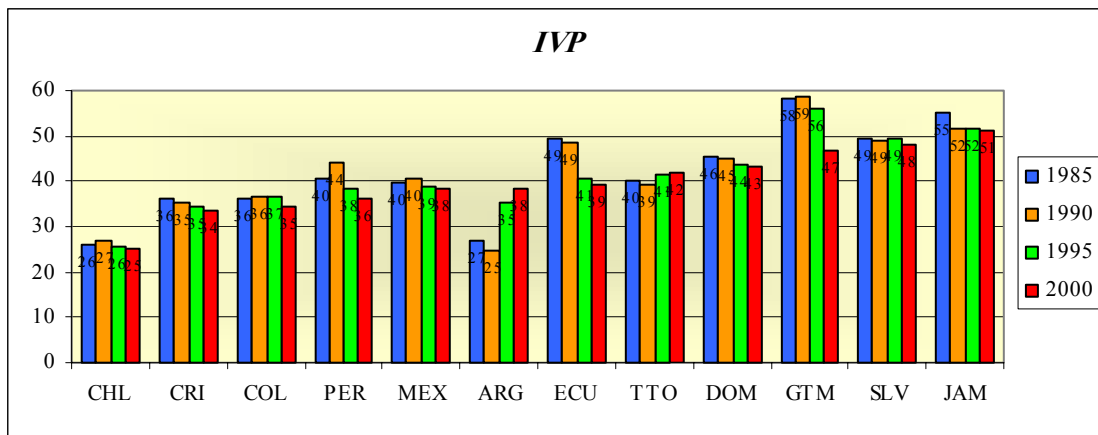


Figura 3.2. *IVP para cada país y en cada período*

Aunque en el 2000 Jamaica presenta el valor más alto, que ha sido más o menos constante a lo largo de los años, Guatemala es el país que ha presentado los valores de más altos *IVP* desde 1985. También se presentan valores altos de *IVP* en El Salvador. En la mayoría de los países se detecta una leve reducción de la vulnerabilidad prevalente a lo largo de los años, excepto en Argentina donde ha habido un aumento significativo y en Trinidad y Tobago donde ha sido leve. Otros valores notables del *IVP* son los de República Dominicana, Trinidad y Tobago y Ecuador, aunque este último, al igual que Perú y Guatemala, ha tenido reducciones relativas importantes. Chile, Costa Rica y Colombia presentan los valores más bajos de *IVP* en el contexto regional. Es importante destacar el caso de Argentina, que fue el país que durante varios períodos había presentado el *IVP* más bajo, sin embargo en los últimos años ha registrado un aumento notablemente.

De las figuras 3.3 a 3.5 se concluye que los países más pequeños, como Jamaica, El Salvador, Trinidad y Tobago, República Dominicana, y Costa Rica, presentan sistemáticamente mayor  $IVP_{ES}$ . En México, Argentina, Costa Rica, Trinidad y Tobago y El Salvador se presenta un aumento relativo de exposición y susceptibilidad en los últimos años. En Chile y Colombia ha habido una leve disminución y es muy notable la reducción en Guatemala y Ecuador. En Guatemala, El Salvador, Jamaica y Colombia se presenta un  $IVP_{SF}$  relativamente alto, aunque en la mayoría de los países la fragilidad socioeconómica ha registrado una disminución en el tiempo, excepto en Colombia y en Chile en el último período. Los valores del  $IVP_{LR}$  son muy

altos en general, siendo muy notables en Guatemala, Perú, Jamaica y El Salvador, aunque su valor ha disminuido levemente en los últimos años, excepto en Jamaica, Ecuador y Argentina. En Costa Rica y Chile se presenta la mayor resiliencia. La figura 11 ilustra los valores del *IVP* para los países cada cinco años desde 1985 a 2000. Aunque en el 2000 Jamaica presenta el valor más alto, que ha sido más o menos constante a lo largo de los años, Guatemala es el país que ha presentado los valores de más altos *IVP* desde 1985. En general el *IVP* refleja susceptibilidad por el grado de exposición física de bienes y personas, lo que favorece el impacto directo. Igualmente, refleja condiciones de fragilidad social y económica que favorecen el impacto indirecto e intangible. Y, también, refleja falta de capacidad para absorber las consecuencias, responder eficientemente y recuperarse. La reducción de este tipo de factores, objeto de un proceso de desarrollo humano sostenible y de políticas explícitas de reducción de riesgo, es uno de los aspectos en los cuales debe hacerse especial énfasis.

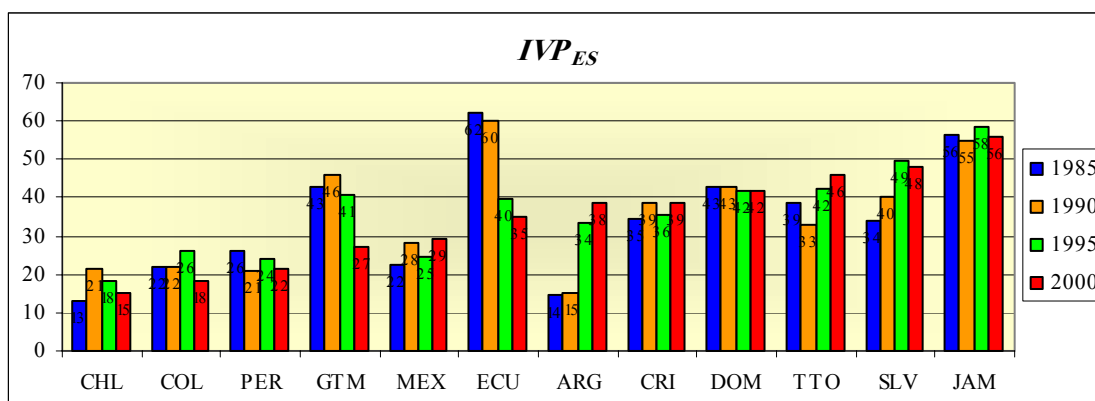


Figura 3.3. IVP por exposición y susceptibilidad

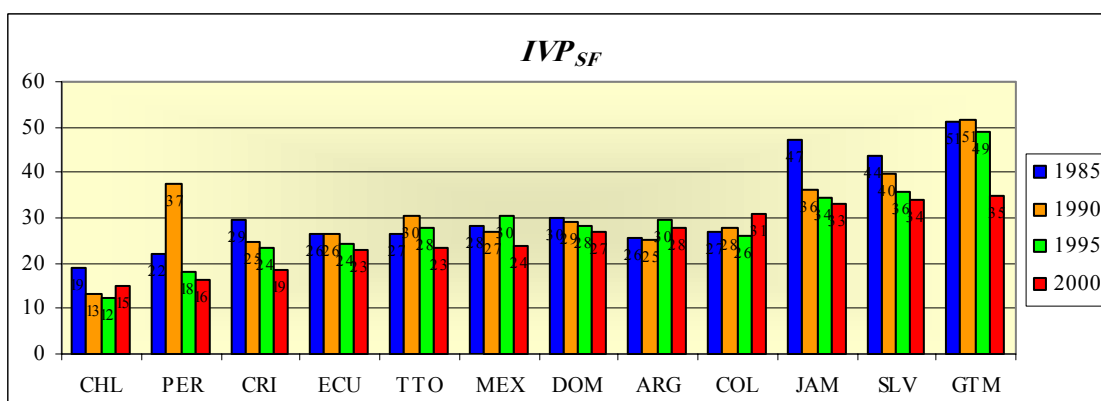


Figura 3.4. IVP por fragilidad social

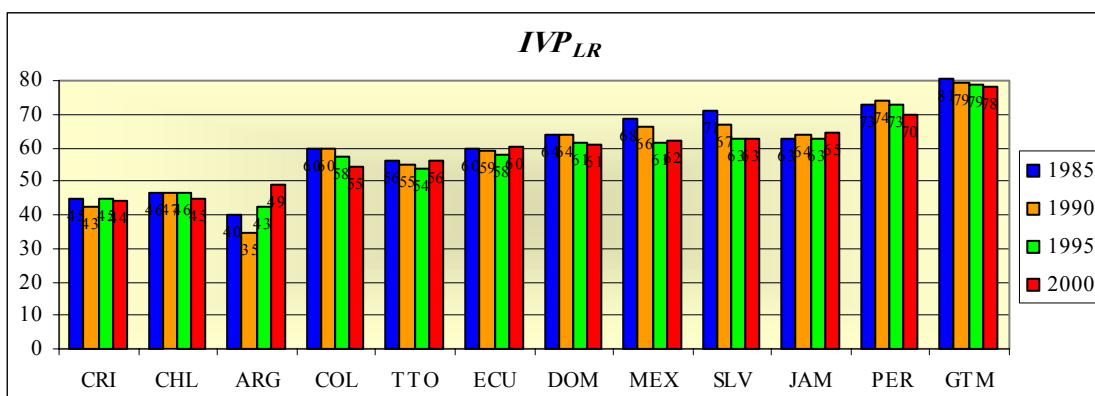


Figura 3.5. IVP por falta de resiliencia

### 3.5.2.2. Índice de desastres locales, IDL

Los indicadores que constituyeron el *IDL* se basan fundamentalmente en los registros de muertos, de personas afectadas y de viviendas destruidas de la base de datos DesInventar. Se consideró pertinente sumar afectados con damnificados, dado que en algunos países se usa una u otra denominación para lo mismo, y se acordó sumar las viviendas destruidas con las viviendas afectadas, considerando que una vivienda afectada corresponde a 0.25 viviendas destruidas. La reposición de cada vivienda destruida corresponde al valor promedio de una vivienda de interés social en el período de análisis.

Por otra parte, el valor de una hectárea de cultivos se determinó con base en un precio promedio ponderado de las áreas de cultivos usualmente afectadas, según el criterio de expertos de cada país en el período de análisis.

Las figuras 3.6 a 3.8 ilustran la variación de los valores acumulados de las pérdidas, personas afectadas y del número de muertos en cada país desde 1980 hasta el 2000, de cinco en cinco años. No se incluyen en la figura 3.7 el total de afectados en Colombia y Argentina en el período de 1996-2000 que superan los 4.5 y los 6.8 millones de personas, respectivamente. Igualmente, no se incluye en la figura 3.8 el total de muertos de Colombia y México en el período de 1980-1985, que superan los 25 000 y 5 000 respectivamente.

Se calculó el *IDL* como la suma de los *IDL* calculados independientemente para pérdidas económicas, afectados y muertos que se obtienen de combinar la información mencionada. Los *IDL* captan la incidencia y la uniformidad de la distribución de efectos a nivel local, dan cuenta del peso relativo de los efectos causados por los diferentes eventos en cada municipio y reflejan la persistencia de los efectos sobre los medios de sustento y el desarrollo local. La figura 3.9 presenta el *IDL* total para los países en cada período, obtenido de la agregación de sus tres componentes o *IDL* por pérdidas, afectados y muertos.

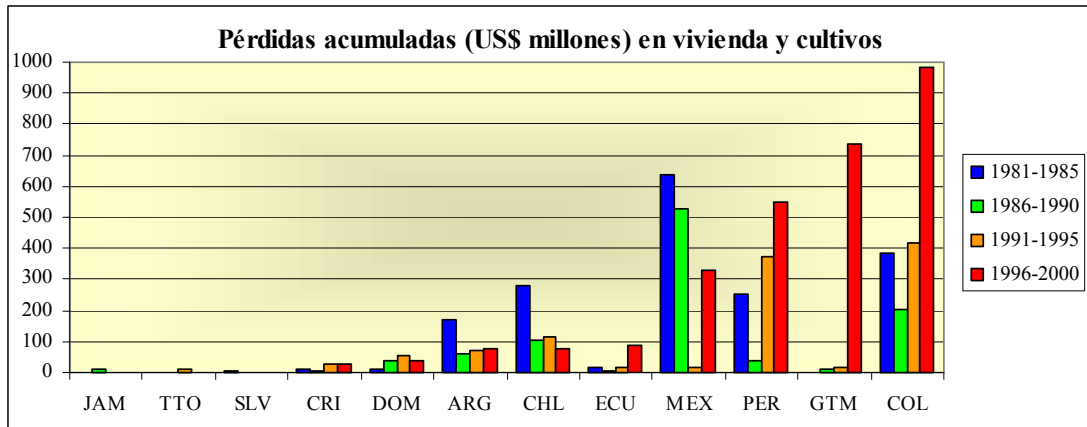


Figura 3.6. Pérdidas económicas en períodos de cinco años

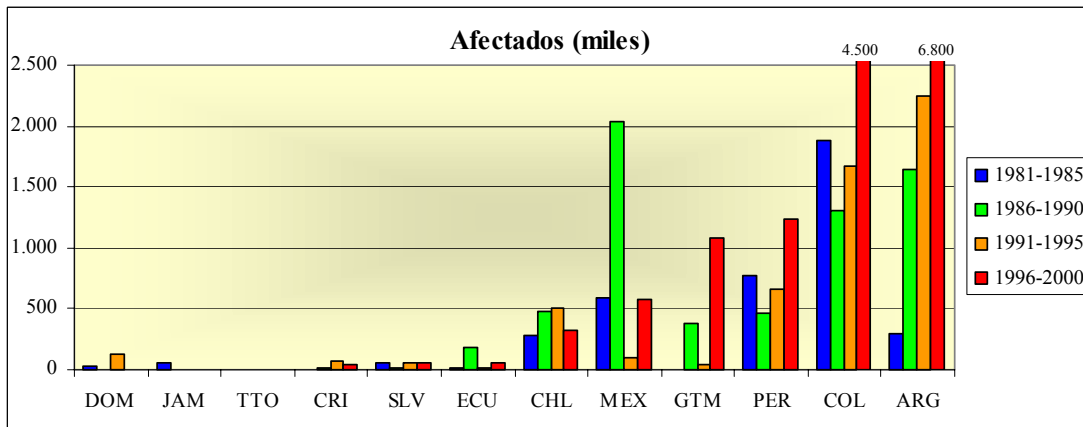


Figura 3.7. Personas afectadas en períodos de cinco años

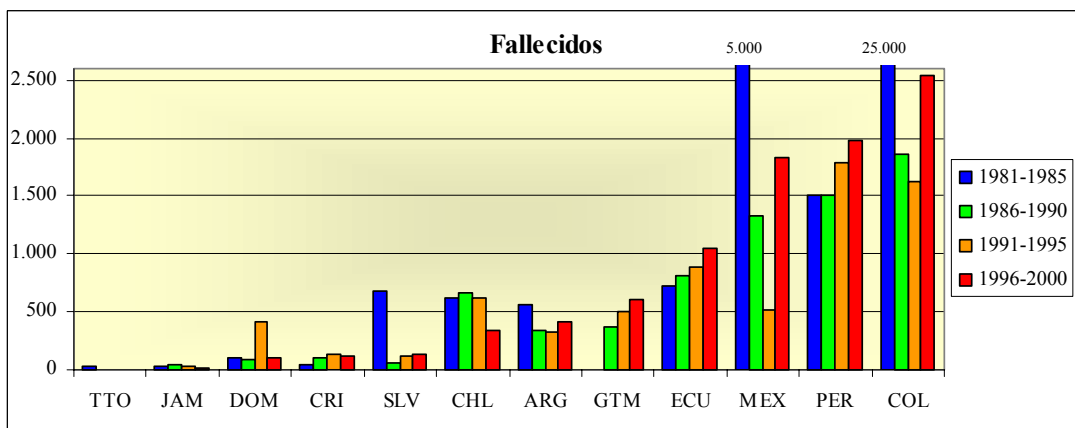
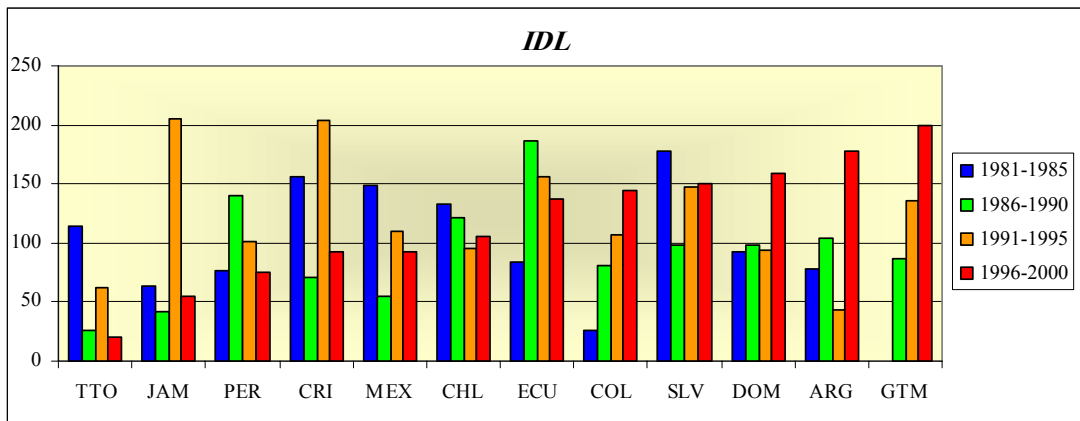


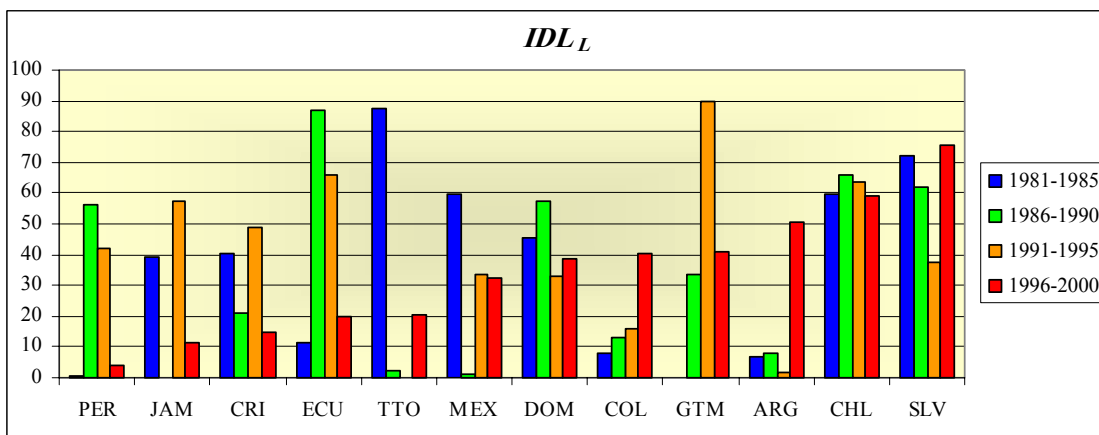
Figura 3.8. Personas fallecidas en períodos de cinco años



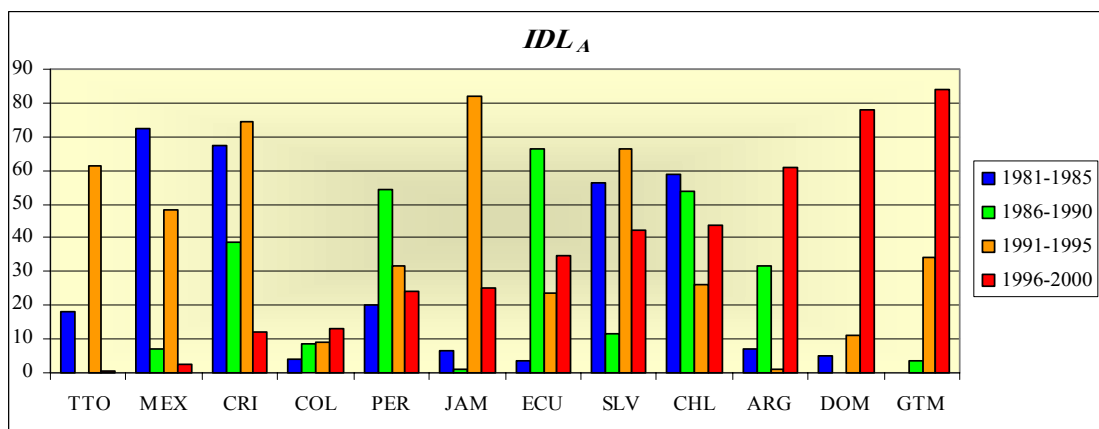


*Figura 3.9. IDL agregado para cada período y país*

Las figuras 3.10 a 3.12 ilustran los *IDL* considerando en forma independiente las cifras de pérdidas, afectados y muertos respectivamente.



*Figura 3.10. IDL<sub>L</sub> por pérdidas para cada período y país*



*Figura 3.11. IDL<sub>A</sub> por afectados para cada período y país*

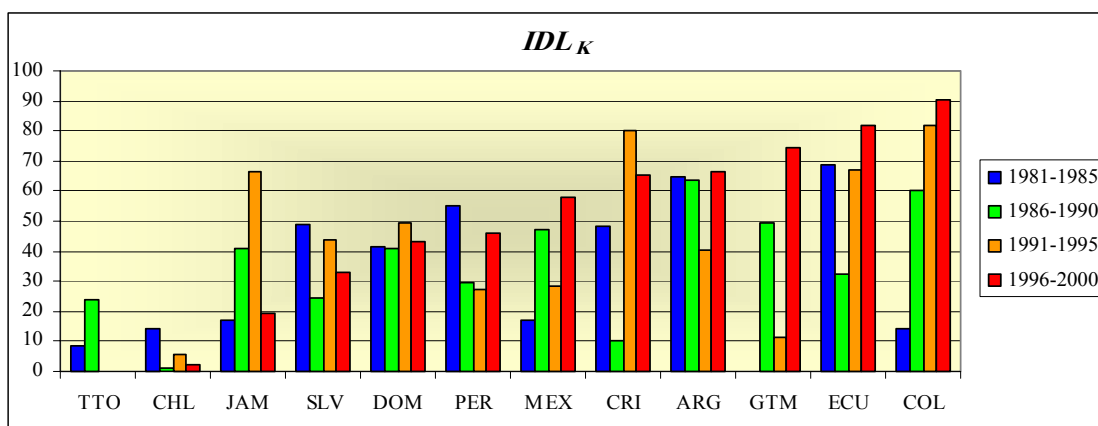


Figura 3.12.  $IDL_K$  por fallecidos para cada período y país

Un mayor valor relativo del  $IDL$  significa una mayor regularidad de la magnitud y la distribución de los efectos entre todos los municipios de un país, debido a los diferentes tipos de fenómeno que los originan. Guatemala, Argentina, República Dominicana, Colombia y El Salvador, en general, muestran una tendencia de aumento del  $IDL$  a lo largo de los años. Por otra parte Ecuador, Chile, México y Perú muestran una tendencia a la disminución del  $IDL$ . Estas tendencias podrían asociarse con procesos tanto positivos como negativos de deterioro ambiental. También se ha calculado el  $IDL'$  que da cuenta de la concentración, a nivel municipal, de las pérdidas (daño físico directo) agregadas para todos los eventos en cada país. La figura 3.13 ilustra el valor del índice  $IDL'$  para cada uno de los países en los diferentes períodos considerados.

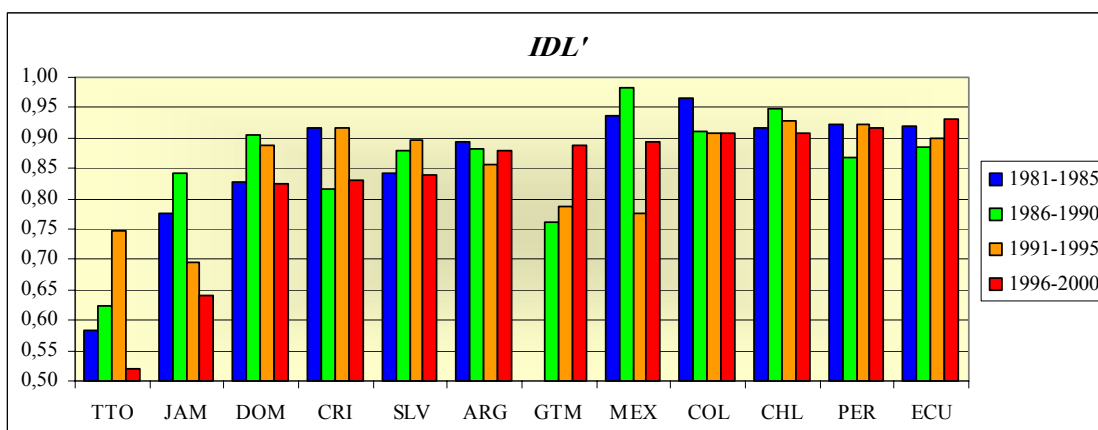
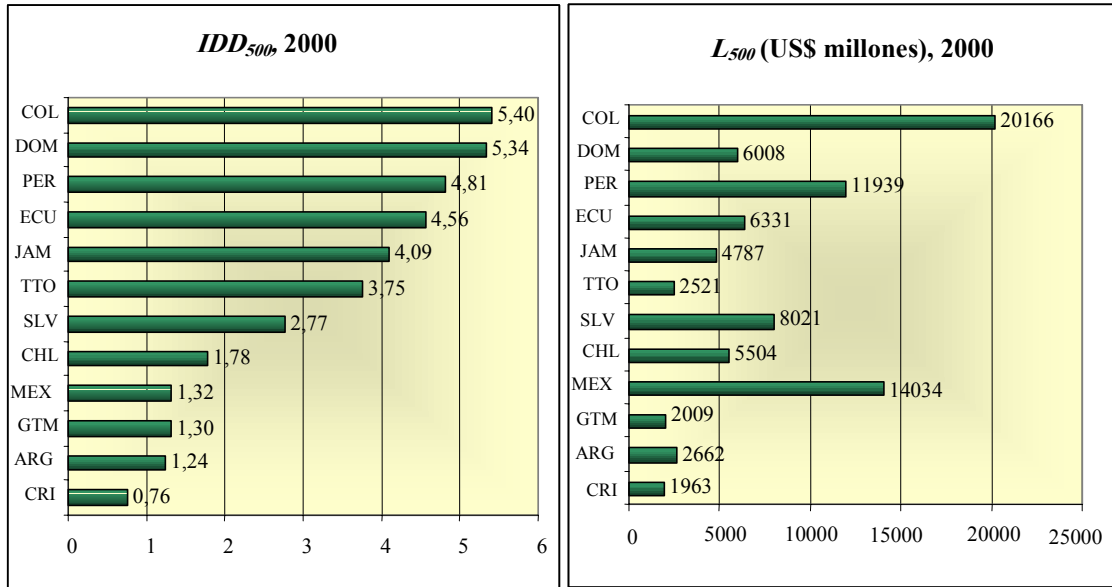


Figura 3.13.  $IDL'$  para cada período y país

### 3.5.2.3. Índice de déficit por desastre, IDD

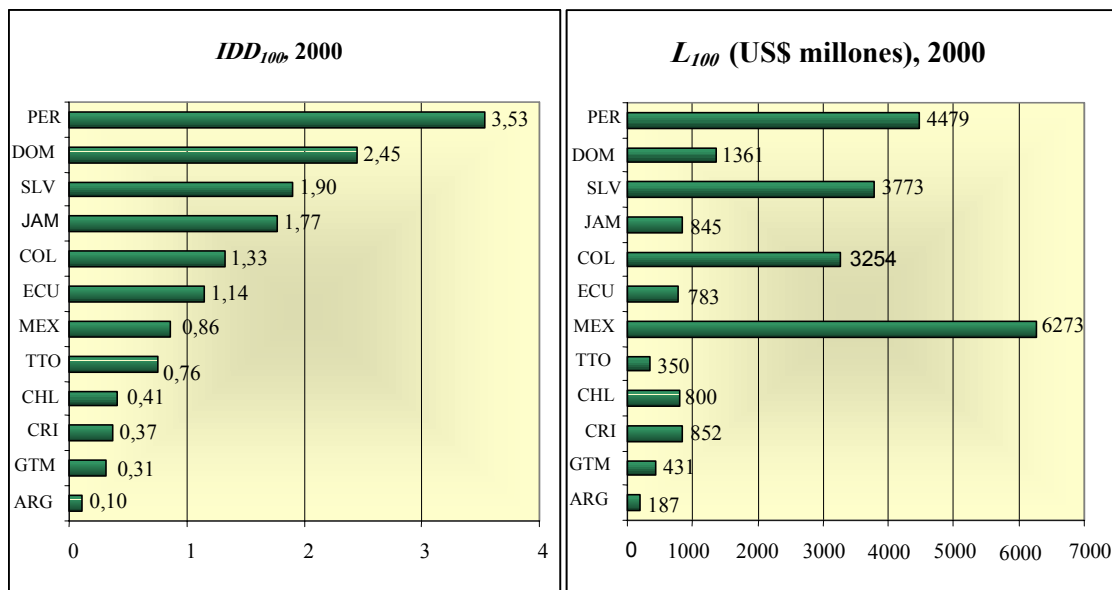
Para la evaluación de este índice se aplicó la metodología explicada en la sección 3.4. La Figura 3.14, a la izquierda, muestra el  $IDD$  de los países en el año 2000 para el  $EMC$  de 500 años de período de retorno (probabilidad del 2%

de ocurrencia en 10 años). A la derecha, se presenta la pérdida máxima  $L$  para el gobierno en ese mismo lapso de tiempo.



**Figura 3.14. IDD y la pérdida máxima probable en 500 años**

Con excepción de Costa Rica, todos los países tienen un  $IDD$  mayor que 1.0, siendo la situación más crítica la de Colombia que presenta un  $IDD$  de 5.4 ante una pérdida de US\$ 20 166 millones de dólares. La Figura 3.15 presenta el  $IDD$  y las pérdidas potenciales de todos los países para un evento de 100 años de período de retorno (probabilidad del 10% de ocurrencia en 10 años).



**Figura 3.15. IDD y la pérdida máxima probable para 100 años**

En este caso, la situación sigue siendo crítica para siete de los doce países analizados, en cuanto a poder acceder a recursos para la reconstrucción. Los otros cinco países presentan un *IDD* menor que 1.0 pero el impacto del desastre sería muy alto, en particular en el caso de México. La Figura 3.16 muestra el *IDD* y las pérdidas potenciales de los países para un evento de 50 años de período de retorno (probabilidad del 18% de ocurrencia en 10 años).

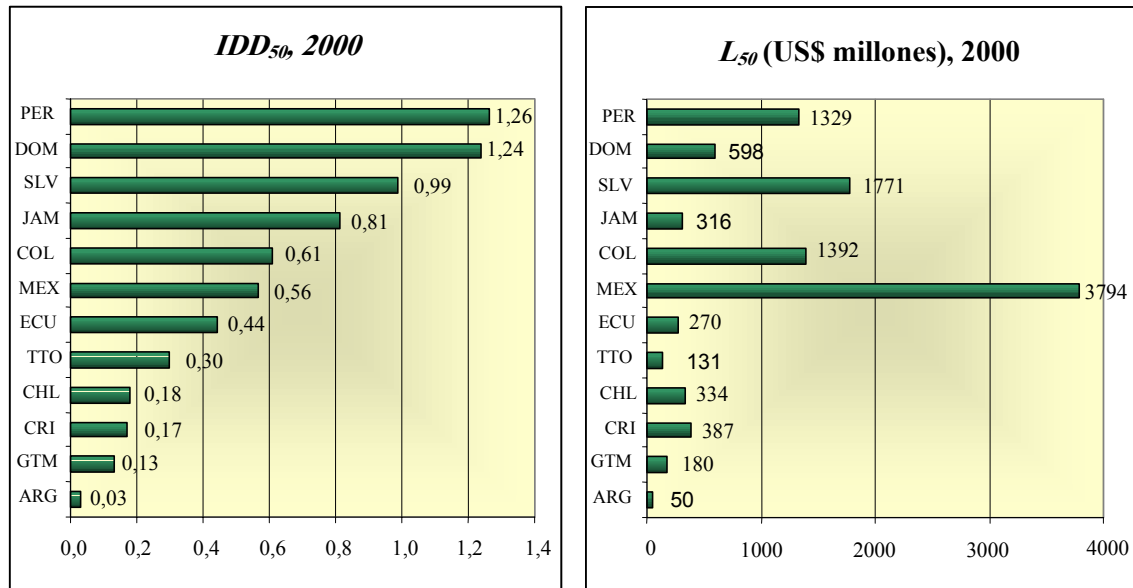


Figura 3.16. *IDD* y pérdida máxima probable para 50 años

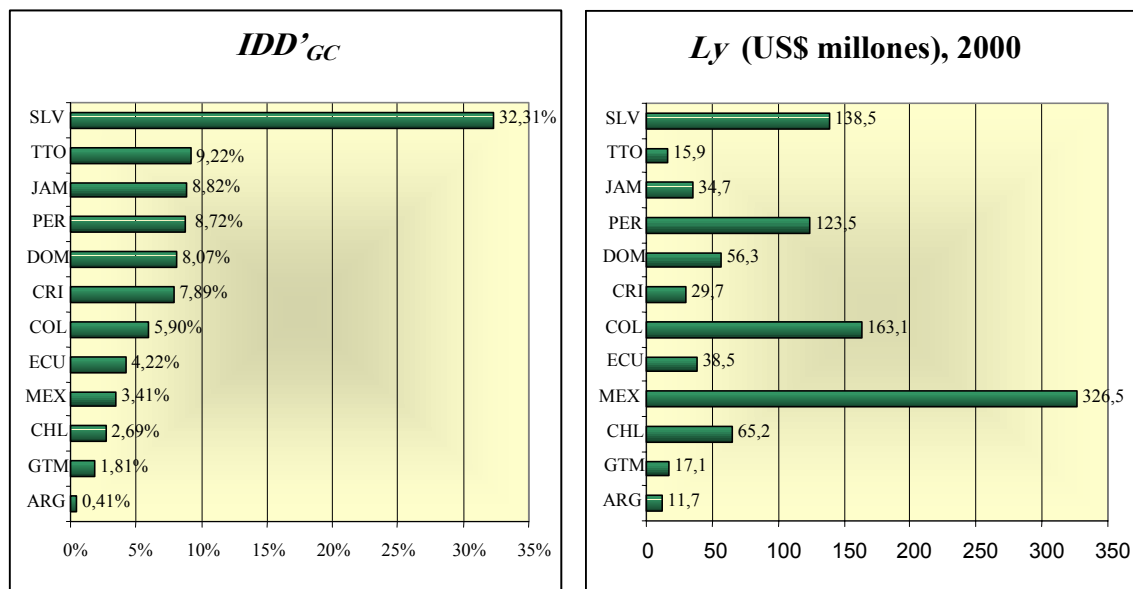


Figura 3.17. *IDD'* y pérdida anual esperada

La pérdida económica o demanda de fondos contingentes (numerador del índice) se obtiene a partir de la modelización del impacto potencial causado por el *EMC* para tres períodos de retorno: 50, 100 y 500 años, que equivalen a 18%, 10% y 2% de probabilidad de excedencia en un período de exposición de 10 años.

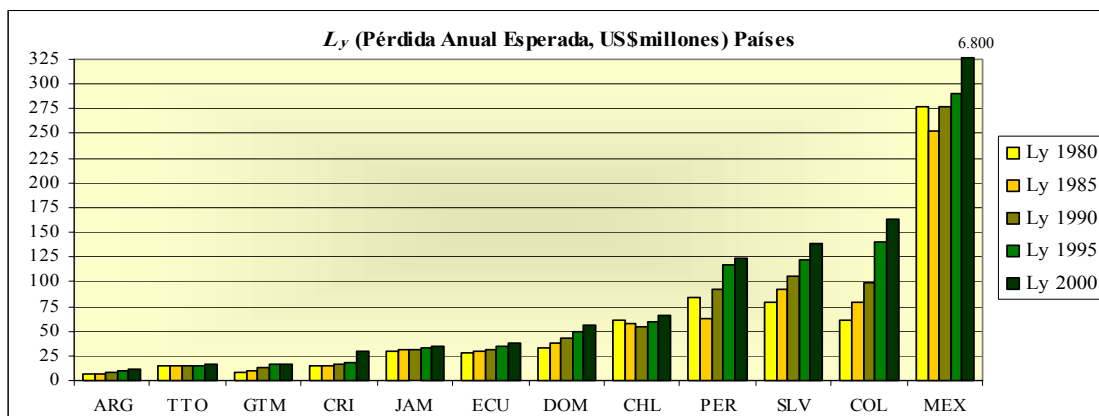
Ahora bien, la resiliencia económica (el denominador del índice) representa los posibles fondos internos o externos que el gobierno, como responsable de la recuperación o propietario de los bienes afectados, puede acceder en el momento de la evaluación del daño. El acceso a dichos fondos tiene restricciones y costos asociados, por lo que es necesario estimarlos como valores factibles de acuerdo con las condiciones macroeconómicas y financieras de cada país.

Las pérdidas potenciales se calcularon mediante un modelo que tiene en cuenta, por un parte, diferentes amenazas, –que se calculan en forma probabilística de acuerdo con el registro histórico de las intensidades de los fenómenos que las caracterizan– y, por otra parte, la vulnerabilidad física actual que presentan los elementos expuestos ante dichos fenómenos. Este modelo prospectivo y analítico no utiliza el registro de pérdidas (muertos o afectados) de desastres históricos sino las intensidades de los fenómenos. Desde el punto de vista actuarial se debe evitar hacer estimaciones de riesgo en forma inductiva, con base en la estadística de daños previos y en cortos períodos de tiempo. La modelación adecuada debe ser deductiva, tanto para evaluar la potencial ocurrencia de eventos de grandes consecuencias y baja probabilidad como del grado de vulnerabilidad que presentan en el momento los elementos expuestos. Detalles de los fundamentos técnicos de los modelos utilizados se encuentran en (Cardona *et al.* 2004). Estas evaluaciones se realizaron para el período comprendido entre 1985 y 2000, cada cinco años. Las pérdidas aumentan en el tiempo por el crecimiento del stock de capital y de la vulnerabilidad física.

El cálculo de las pérdidas se realizó para eventos extremos que causarían la correlación de pérdidas en forma simultánea y de acuerdo con las amenazas que en cada país podría causar el *EMC*. En consecuencia, se estudió el caso de huracán en países como México, Guatemala, Jamaica, Trinidad y Tobago y República Dominicana. Esta modelación incluyó el viento y la marea de tormenta. En el caso de erupciones volcánicas se confirmó que causarían pérdidas relativamente puntuales en países como Ecuador, Colombia y los países de Centro América. Las inundaciones son importantes en Argentina y Perú; sin embargo, el sismo fue el fenómeno que dominó el *EMC* en todos los países y para los tres períodos de retorno considerados.

Un valor de especial utilidad en la evaluación del riesgo es la pérdida anual esperada,  $Ly^P$ , que se define como el valor esperado de la pérdida que se tendría en un año cualquiera. También se le conoce como la prima pura o prima técnica. Este valor es equivalente a la inversión o ahorro promedio anual que tendría que hacer el país para cubrir aproximadamente sus pérdidas por

desastres extremos futuros. La figura 3.18 presenta la evolución en los últimos 20 años de este valor para cada gobierno en millones de dólares.



**Figura 3.18. Prima técnica estimada cada cinco años entre 1980 y 2000**

En esta evaluación se han tenido en cuenta: el pago de seguros y reaseguros que aproximadamente recibiría el país por los bienes y la infraestructura asegurada del gobierno ( $F_1^P$ ); las reservas disponibles en fondos para desastres con los que cuenta el país en el año de la evaluación ( $F_2^P$ ); los valores que pueden recibirse como ayudas y donaciones, tanto públicas como privadas, nacionales como internacionales ( $F_3^P$ ); el valor posible de nuevos impuestos que el país podría recaudar adicionalmente en caso de un desastre mayor ( $F_4^P$ ); la estimación del margen de reasignación presupuestal que tiene el país, que usualmente corresponde al margen de gastos discrecionales del gobierno ( $F_5^P$ ); el valor factible de crédito externo que puede obtener el país de los organismos multilaterales y en el mercado de capitales en el exterior ( $F_6^P$ ); y el crédito interno que puede obtener el país de los bancos comerciales y en algunos casos del banco central, cuando es legal obtener préstamos del mismo ( $F_7^P$ ).

En el caso de los seguros se evaluó la participación del sector ‘No vida’ en el PIB y esta proporción de la pérdida se consideró como la que sería cubierta por las compañías aseguradoras. Los fondos para desastres se obtuvieron de las reservas que con ese objetivo cada gobierno reportó de su presupuesto nacional en cada período. Pocos países cuentan con este tipo de reservas. El valor de las posibles donaciones en efectivo se estimó como el cinco por ciento de la pérdida total, valor que se considera muy conservativo. El valor factible de nuevos impuestos se obtuvo mediante un procedimiento específico descrito en la metodología. Pocos países consideraron factible cobrar nuevos impuestos en caso de desastre y por el contrario se planteó que muchos casos habría más bien que reducirlos. El margen de reasignación presupuestal se valoró como el sesenta por ciento de los gastos de capital o activos fijos del gobierno en el año en que se realizó la valoración.

Uno de los aspectos que impidieron utilizar el indicador de endeudamiento externo sostenible originalmente propuesto fue su alta sensibilidad a cambios erráticos de la tasa de cambio real y la tasa de interés real. En efecto, durante la década de los ochenta, los países de América Latina sufrieron grandes choques exógenos que generaron una gran inestabilidad macroeconómica, adicionalmente a ello se sumó la crisis de la deuda externa y las hiperinflaciones. En este contexto, las tasas de interés real fueron negativas y los tipos de cambio sufrieron una gran volatilidad. Como los indicadores son aproximaciones válidas cuando dichas variables presentan variaciones “normales”, los resultados no fueron confiables. Del mismo modo, el indicador de crédito monetario interno, originalmente propuesto, no se pudo usar, pues para el mismo período se implementaron cambios institucionales que invalidaban cualquier supuesto razonable sobre el acceso de recursos de endeudamiento interno. Sobre el particular, vale la pena mencionar la independencia de los Bancos Centrales, lo que impide que el gobierno acceda a crédito monetario directo.

Los métodos que originalmente se plantearon para estimar la posibilidad de crédito externo e interno son adecuados sólo cuando las condiciones macroeconómicas son relativamente estables. Por este motivo, se optó por utilizar un nuevo indicador que se conoce como la frontera de sostenibilidad. Si un país se encuentra fuera de dicha frontera no le sería factible obtener un nuevo crédito. Estas evaluaciones se realizaron bajo la hipótesis de situación presente, aun cuando en realidad fueron análisis en retrospectiva (en los años 80 y 90). La mayoría de los países quedó por fuera de la frontera de sostenibilidad de la deuda en todos los períodos analizados.

El *IDD* se relaciona con la pérdida económica potencial del país analizado en el caso de presentarse el Evento Máximo Considerado, *EMC*, y sus implicaciones macroeconómicas en términos de los recursos que se requieren para la reconstrucción. Un *IDD* mayor que 1.0 significa incapacidad económica del país para hacer frente a desastres extremos, aun cuando aumente al máximo su deuda. A mayor *IDD*, mayor es el déficit. Si existen restricciones para el endeudamiento adicional, esta situación implicaría la imposibilidad de recuperarse. La Figuras 3.19 a 3.23, presentan el *IDD* de los países estudiados de 1980 a 2000 para eventos con período de retorno de 50, 100 y 500 años.

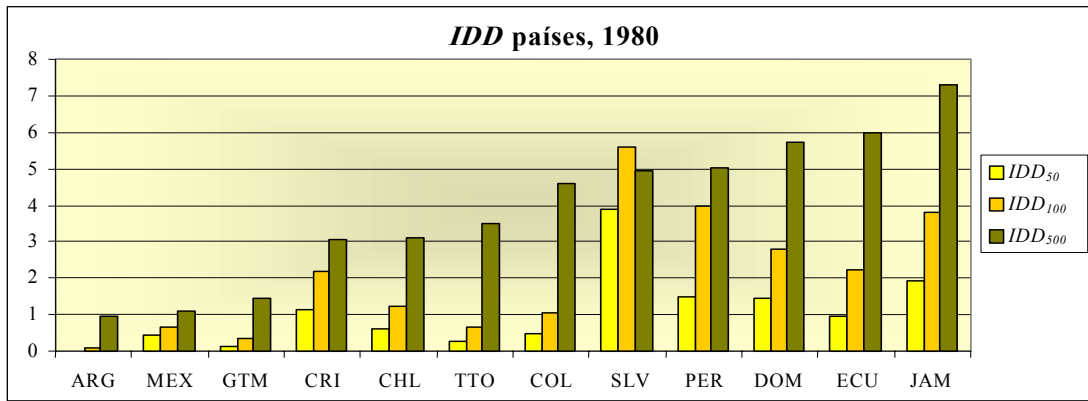


Figura 3.19. IDD en 1980 para 50, 100 y 500 años

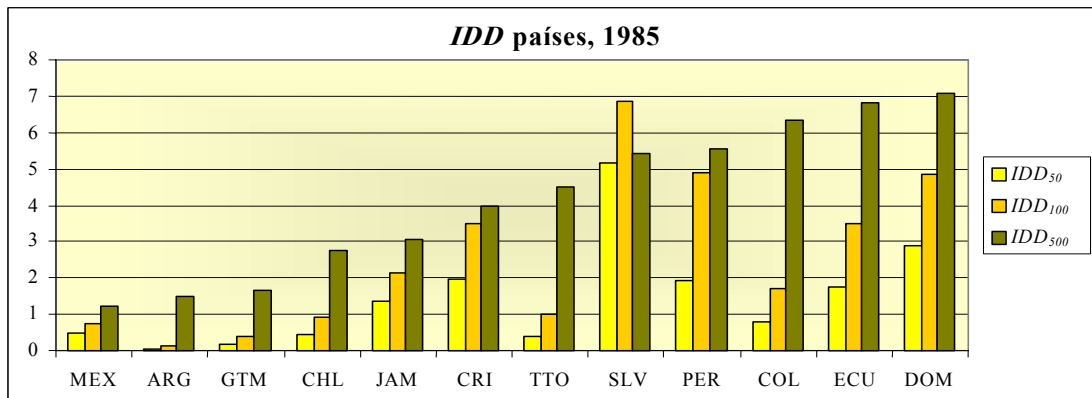


Figura 3.20. IDD en 1985 para 50, 100 y 500 años

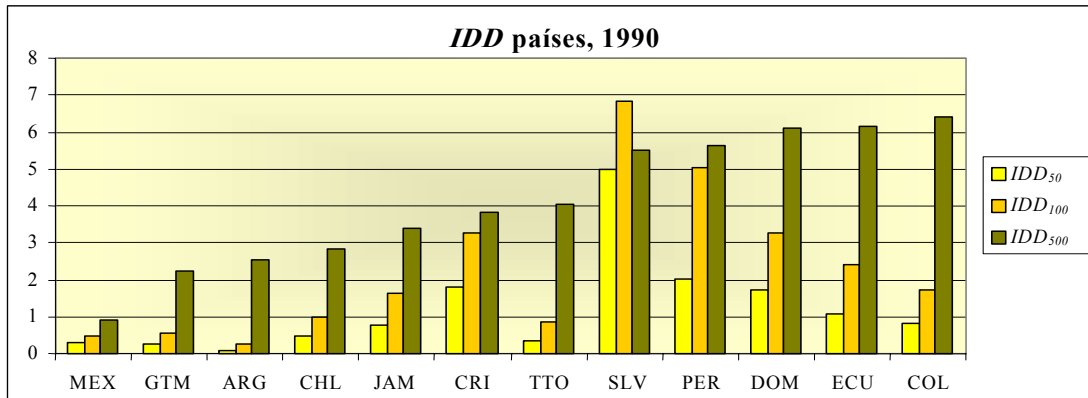
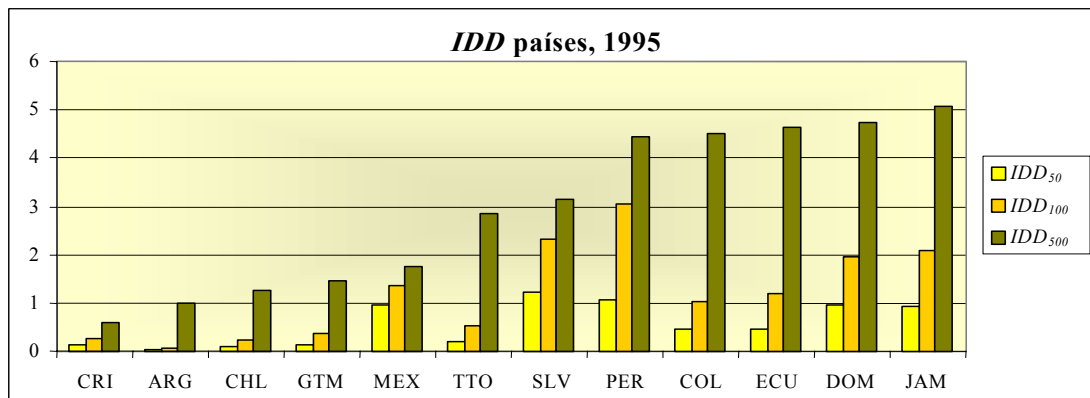
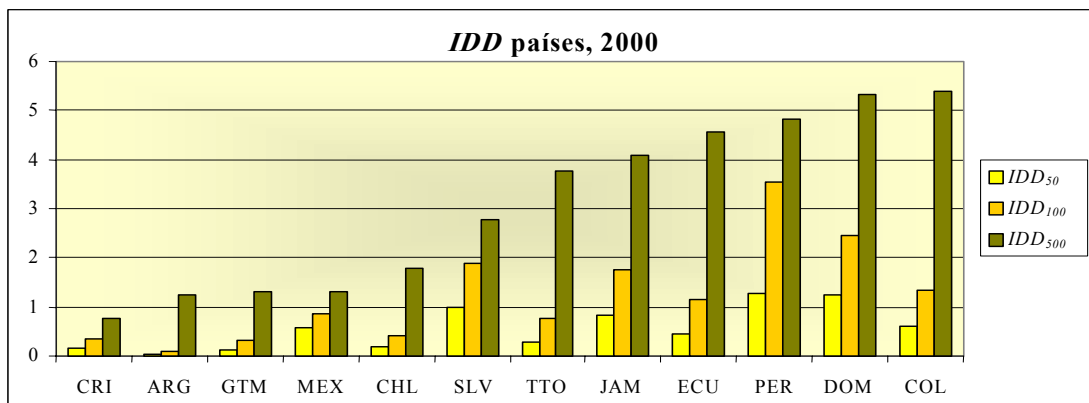


Figura 3.21. IDD en 1990 para 50, 100 y 500 años





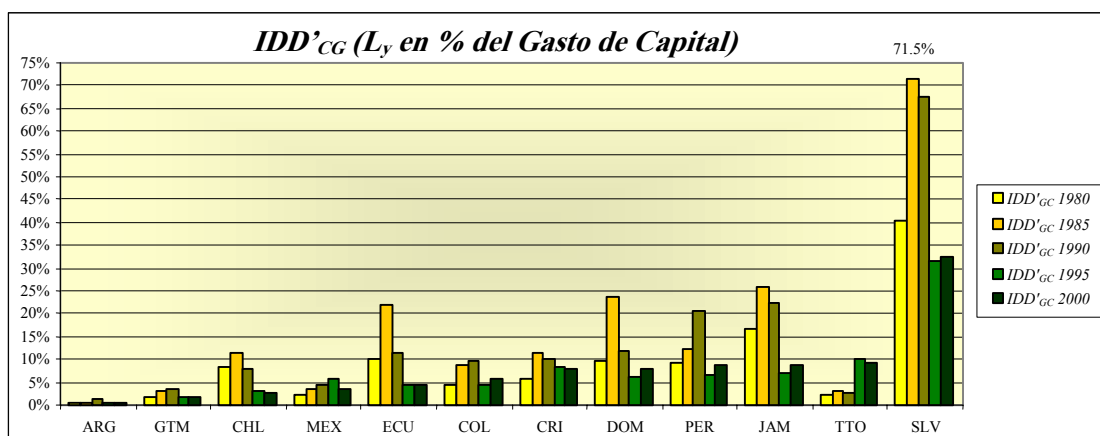
**Figura 3.22. IDD en 1995 para 50, 100 y 500 años**



**Figura 3.23. IDD en 2000 para 50, 100 y 500 años**

En general, la mayoría de los países han presentado a lo largo de los últimos dos decenios una alta 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 ellos 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, siendo la situación más crítica la de Colombia y República Dominicana que presentan un *IDD* mayor que 5.0. Los siguen de cerca Ecuador, Perú, Chile y Jamaica con *IDD* mayor que 4.0.

El índice colateral adicional *IDD'* ilustra qué porción de los gastos de capital del país corresponde la pérdida anual esperada o prima pura de riesgo. Es decir, qué porcentaje de la inversión sería el pago anual por desastres futuros. La Figura 3.24 muestra la evolución de este índice en los últimos veinte años.



***Figura 3.24. IDD' con respecto el gasto de capital***

Aunque la situación para varios países fue más crítica en los años 80 y 90, un valor mayor del 30% sigue siendo excesivo en el caso de El Salvador. Sólo cuatro países tienen un *IDD'* menor del 5%. El *IDD'* también se evaluó con respecto al monto de recursos sostenible por superávit inter-temporal que el gobierno puede destinar, calculado a 10 años. Es decir, el porcentaje que representaría la prima técnica del ahorro potencial a valor presente. En la mayoría de los casos el pago de esta prima aumentaría el déficit ya existente.

Estos resultados ratifican la necesidad de explorar medidas económicas como el incentivo del aseguramiento de los inmuebles públicos y privados, el establecimiento de fondos de reservas con base en criterios sanos de retención de pérdidas, la 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 potenciales y, por lo tanto, el impacto económico futuro de los desastres.

### **3.5.3 Evaluación a nivel subnacional: Departamentos de Colombia**

Para la aplicación al nivel subnacional se utilizó la misma metodología de cálculo pero, en algunos casos, no fue posible hacerlo para todas las unidades subnacionales. Para el *IVP* no se obtuvieron resultados para los departamentos de Amazonas, Arauca, Casanare, Guainía, Guaviare, Putumayo, San Andrés, Vaupés y Vichada, por falta de información. Por la misma razón, en el cálculo del *IDL* no se tuvieron en cuenta los departamentos de Vichada, Guainía, Guaviare, Vaupés, Amazonas y Putumayo.

#### ***3.5.3.1. Índice de vulnerabilidad prevalente, IVP***

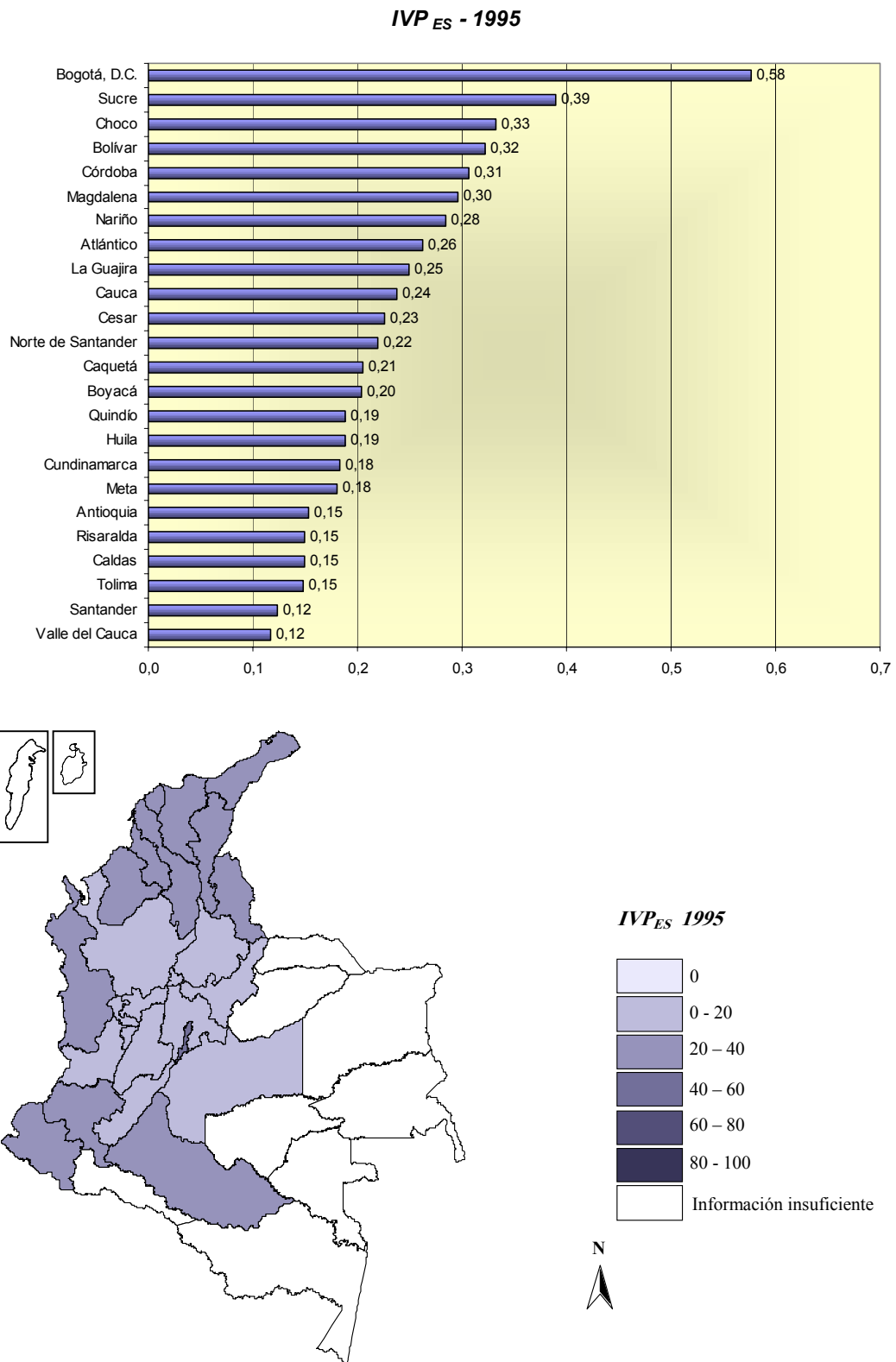
Con este índice se identifica qué departamentos son más vulnerables y si se debe a la exposición y susceptibilidad, a la fragilidad social o a la falta de resiliencia del departamento y su cambio de 1995 al 2000. Las figuras 3.25 a

3.30 presentan los resultados para los componentes del *IVP* ( $IVP_{ES}$ ,  $IVP_{SF}$  e  $IVP_{FR}$ ) para los años considerados. Las figuras 3.31 y 3.32 presentan los resultados para el *IVP*. En este índice se tuvo en cuenta la ciudad de Bogotá independientemente.

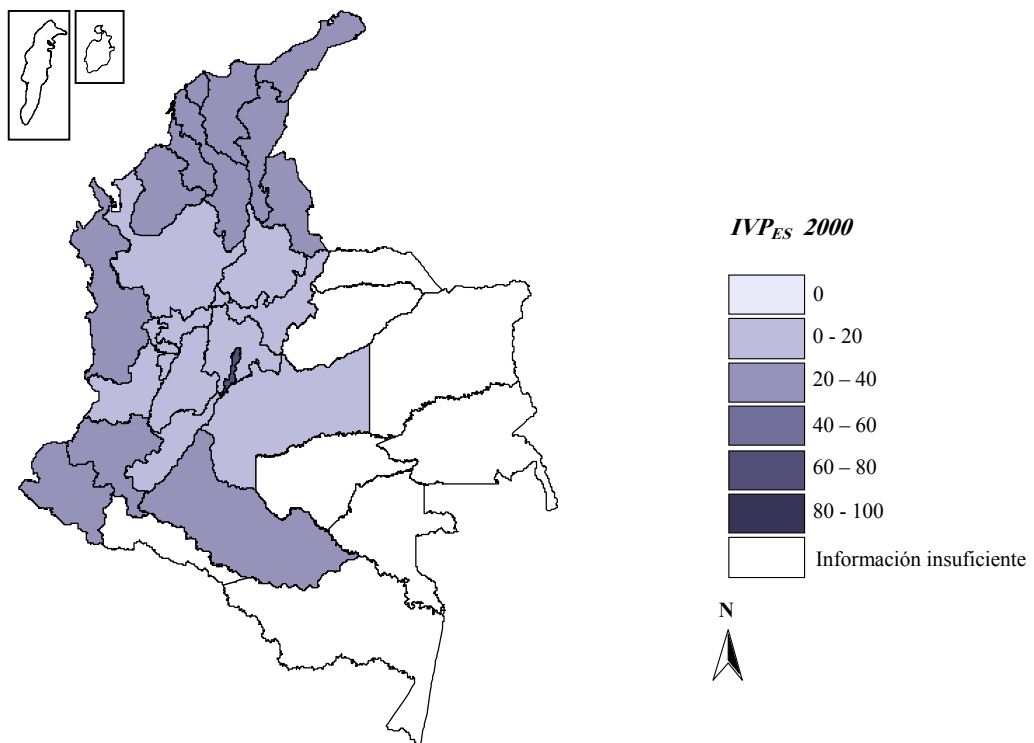
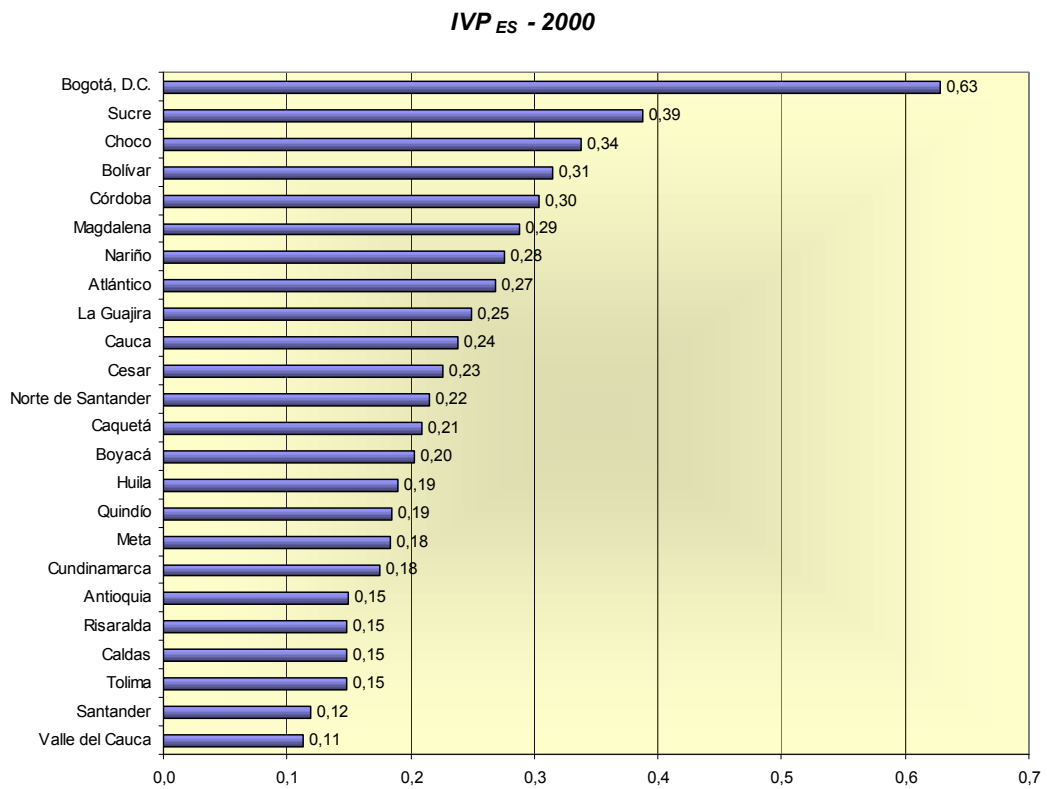
De las estimaciones realizadas se puede decir que el departamento del Chocó es el que presenta el mayor *IVP* tanto en 1995 como en el año 2000 y que se cuenta dentro de los que presentan la más alta vulnerabilidad por exposición  $IVP_{ES}$ , fragilidad social  $IVP_{SF}$  y falta de resiliencia  $IVP_{FR}$ . La vulnerabilidad por exposición se mantuvo entre 1995 y el 2000, la vulnerabilidad por fragilidad social aumento considerablemente, ya que aumentó el desempleo y la población por debajo de la línea de indigencia. La vulnerabilidad por falta de resiliencia disminuyó debido a un aumento en el índice de calidad de vida y en el número de personas afiliadas al seguro social. Los otros departamentos que tienen unos valores de *IVP* altos fueron Córdoba, Nariño, Sucre, Cauca y Bolívar en 1995 y en el año 2000, aunque en este año varió un poco el orden. Los mínimos corresponden a Cundinamarca, Valle del Cauca, Antioquia y Risaralda en 1995 y a Quindío, Cundinamarca, Antioquia y Valle del Cauca en el año 2000.

En el caso del  $IVP_{ES}$  y el  $IVP_{SF}$ , los máximos aumentaron entre 1995 y el 2000; este aumento es más notorio en el  $IVP_{SF}$  y los valores mínimos se mantuvieron para el  $IVP_{ES}$  y aumentaron para el  $IVP_{SF}$ . En el caso del  $IVP_{FR}$ , los valores máximos disminuyeron y los mínimos aumentaron.

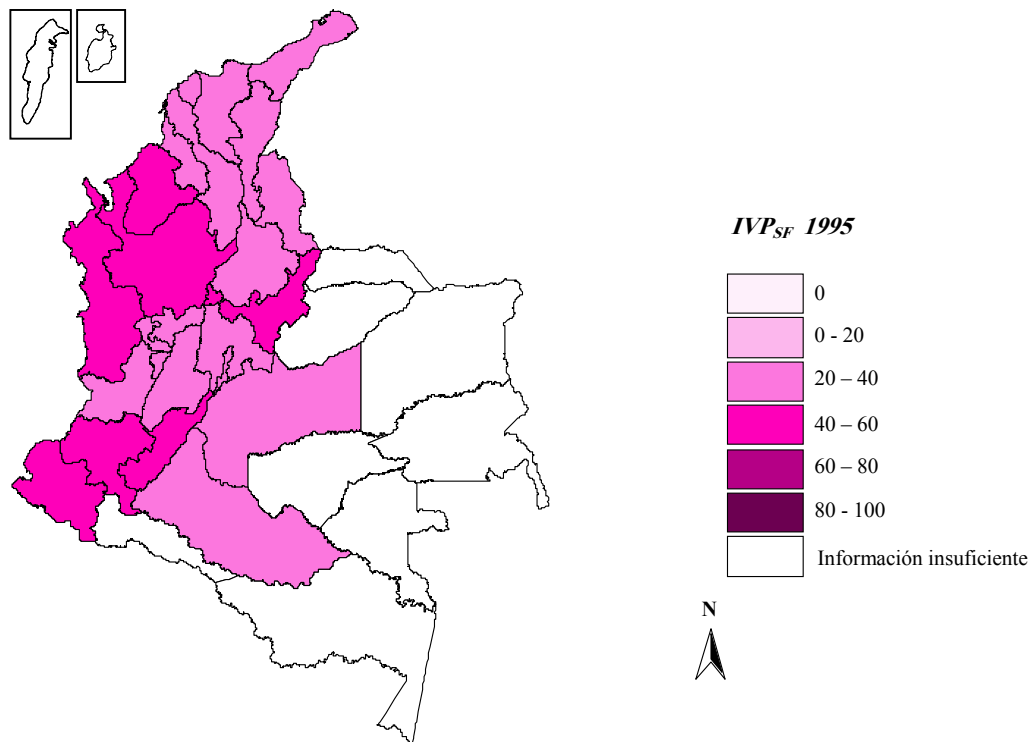
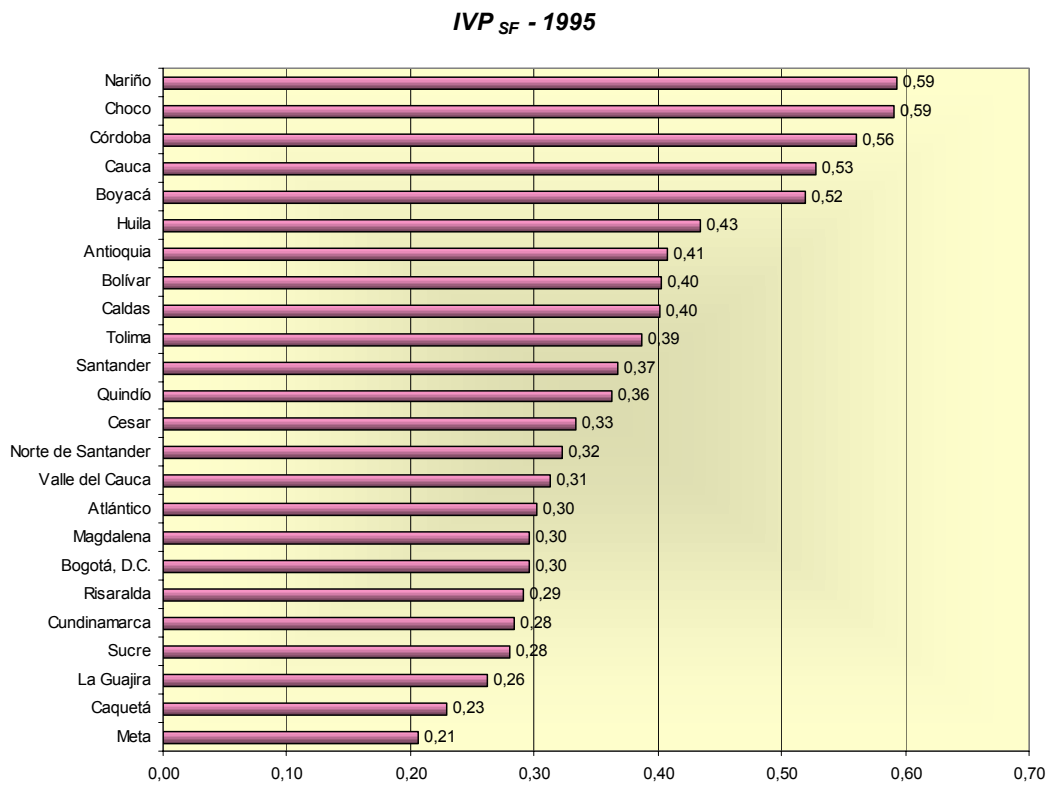
Los departamentos de Sucre, Chocó, Bolívar y Córdoba tienen los mayores valores de  $IVP_{ES}$  en 1995 y el 2000; los mínimos fueron registrados en los departamentos de Antioquia, Risaralda, Caldas, Tolima, Santander y Valle del Cauca en los dos años y se mantienen sin mayor variación. En todo el país existe una tendencia al aumento de los valores de vulnerabilidad por fragilidad social  $IVP_{SF}$ . Los mayores valores del  $IVP_{SF}$  son los de Nariño, Chocó, Córdoba, Cauca y Boyacá en 1995, mientras que en el año 2000 se presentan en Chocó, Cauca, Córdoba y Nariño, todos con valores superiores a los máximos de 1995. Los mínimos del  $IVP_{SF}$  para 1995 los obtuvieron Atlántico, Magdalena, Risaralda, Cundinamarca, Sucre, Guajira, Caquetá y Meta; en el año 2000 los obtuvieron Norte de Santander, Quindío, Meta, Caquetá, Magdalena y Guajira, todos con valores mayores a los mínimos de 1995. En cuanto a los valores del  $IVP_{FR}$ , se observa que los departamentos con valores máximos en 1995 son Córdoba, Sucre, Chocó y Caquetá; presentan valores notablemente superiores que los máximos del 2000 Caquetá, Córdoba, Nariño y Chocó. Los mínimos del  $IVP_{FR}$  los presenta Cundinamarca, Valle del Cauca y Antioquia; en el año 2000 los tienen Cundinamarca, Quindío y Antioquia. La ciudad de Bogotá, en términos generales, aumentó su vulnerabilidad prevalente, aunque la componente por falta de resiliencia,  $IVP_{FR}$ , mostró una leve disminución.



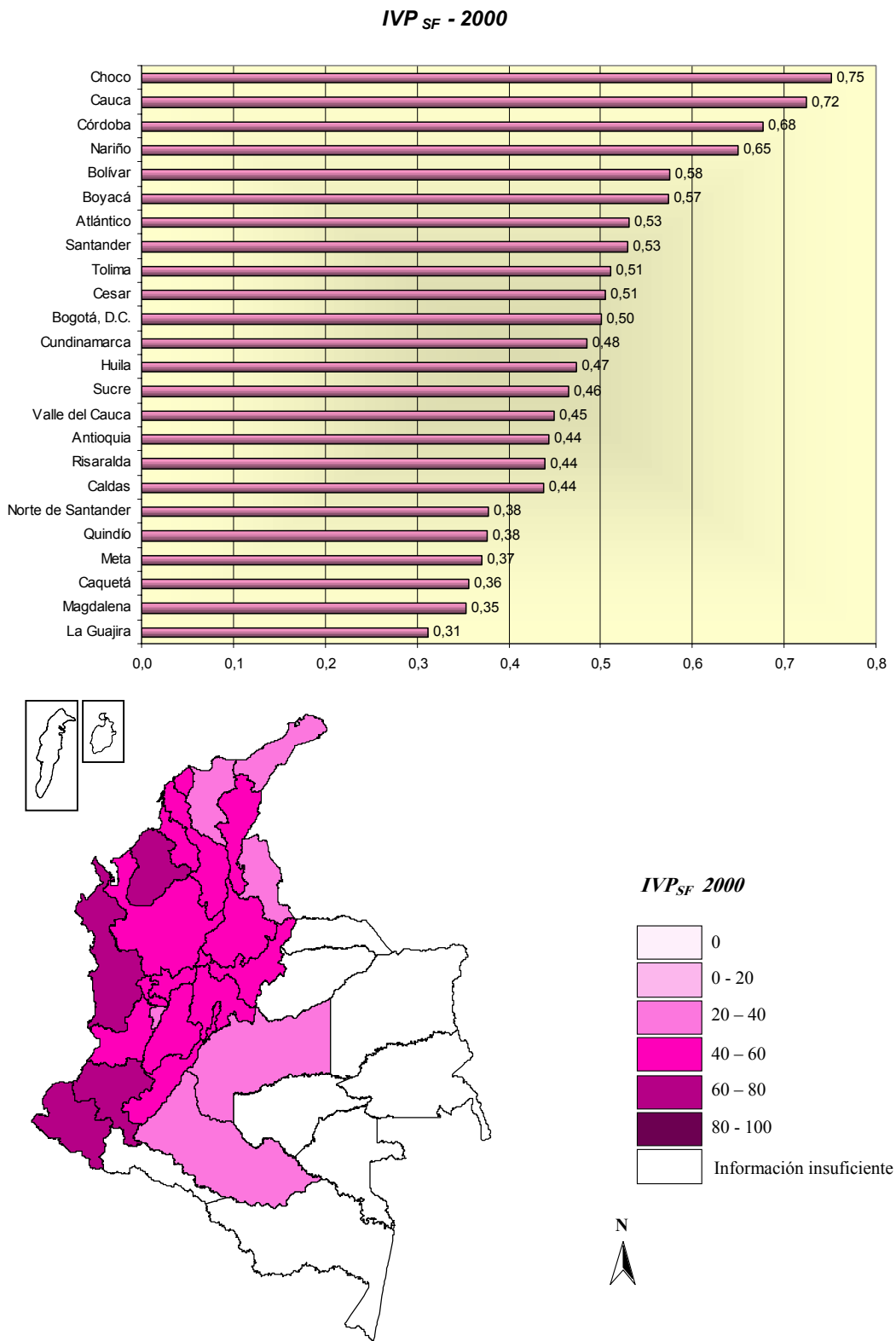
**Figura 3.25. Valores de IVP<sub>ES</sub> para 1995**



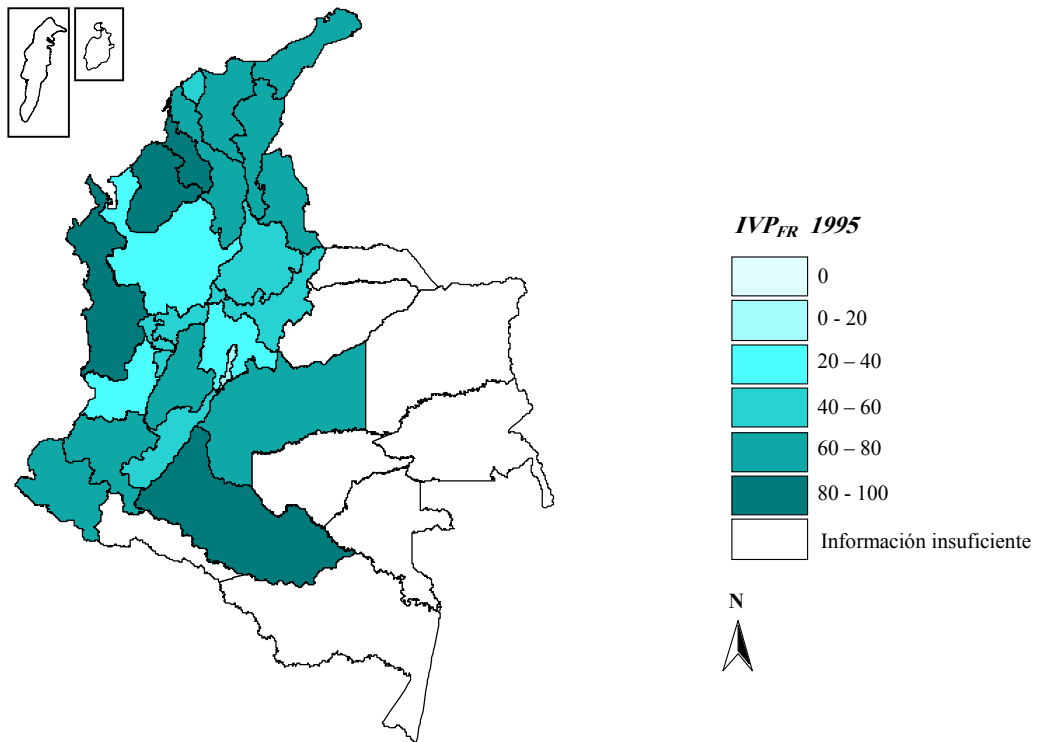
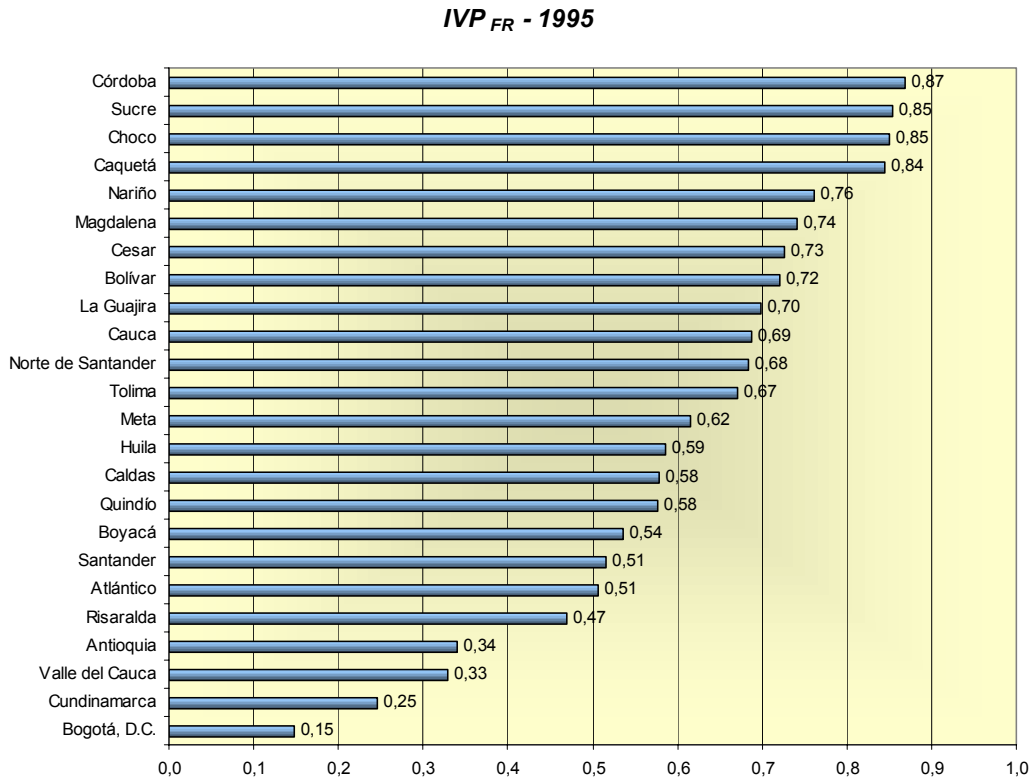
**Figura 3.26. Valores de IVP<sub>ES</sub> para 2000**



**Figura 3.27. Valores de IVP<sub>SF</sub> para 1995**

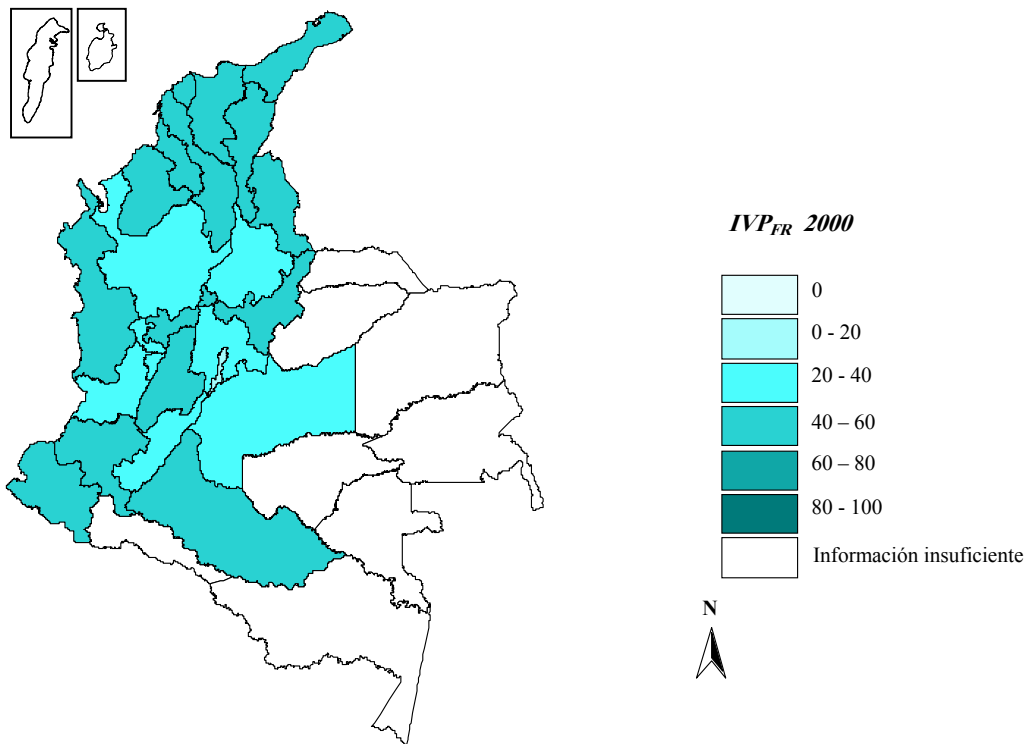
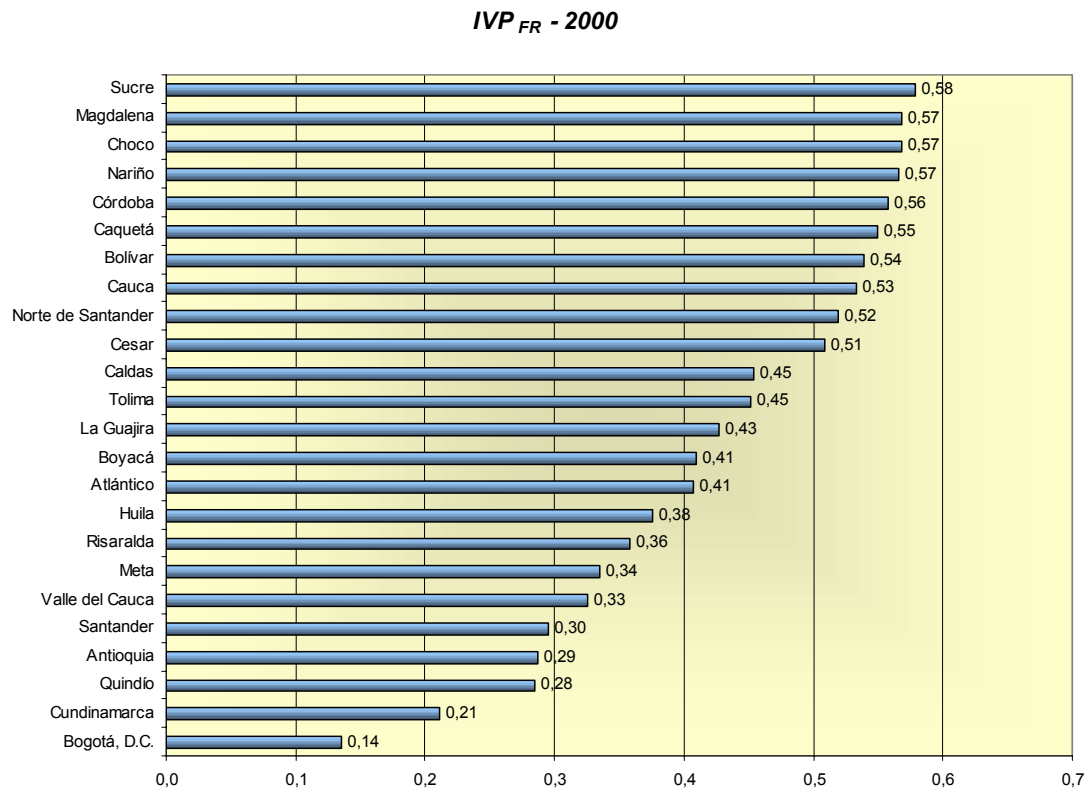


**Figura 3.28. Valores de IVP<sub>SF</sub> para 2000**



**Figura 3.29. Valores de IVP<sub>FR</sub> para 1995**





**Figura 3.30. Valores de IVP<sub>FR</sub> para 2000**

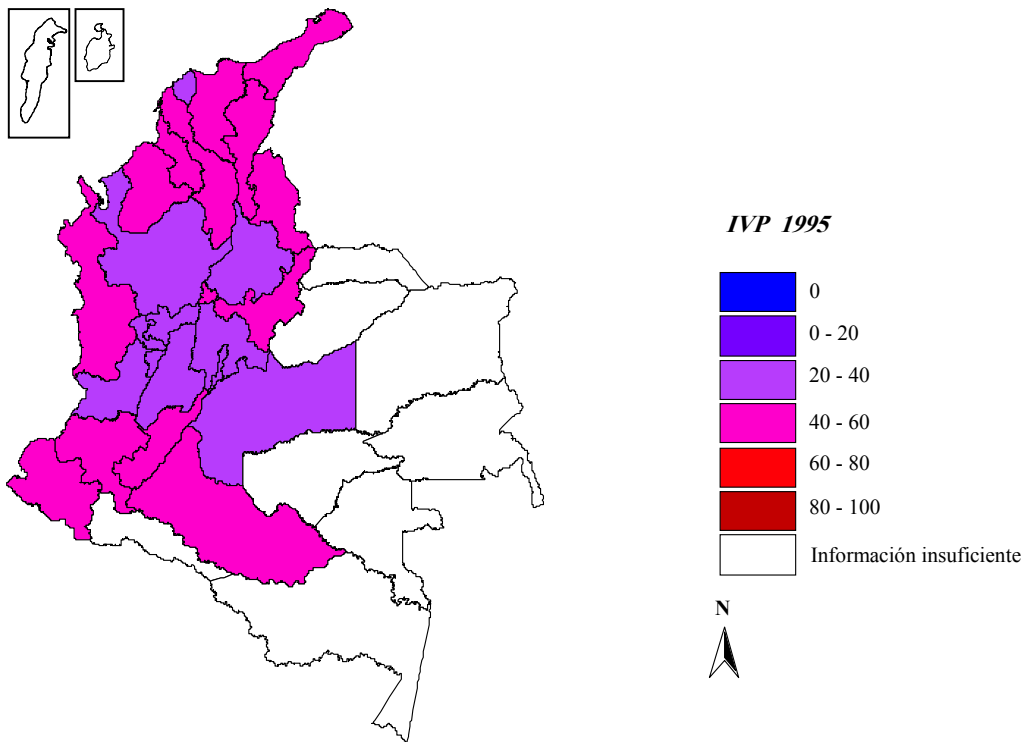
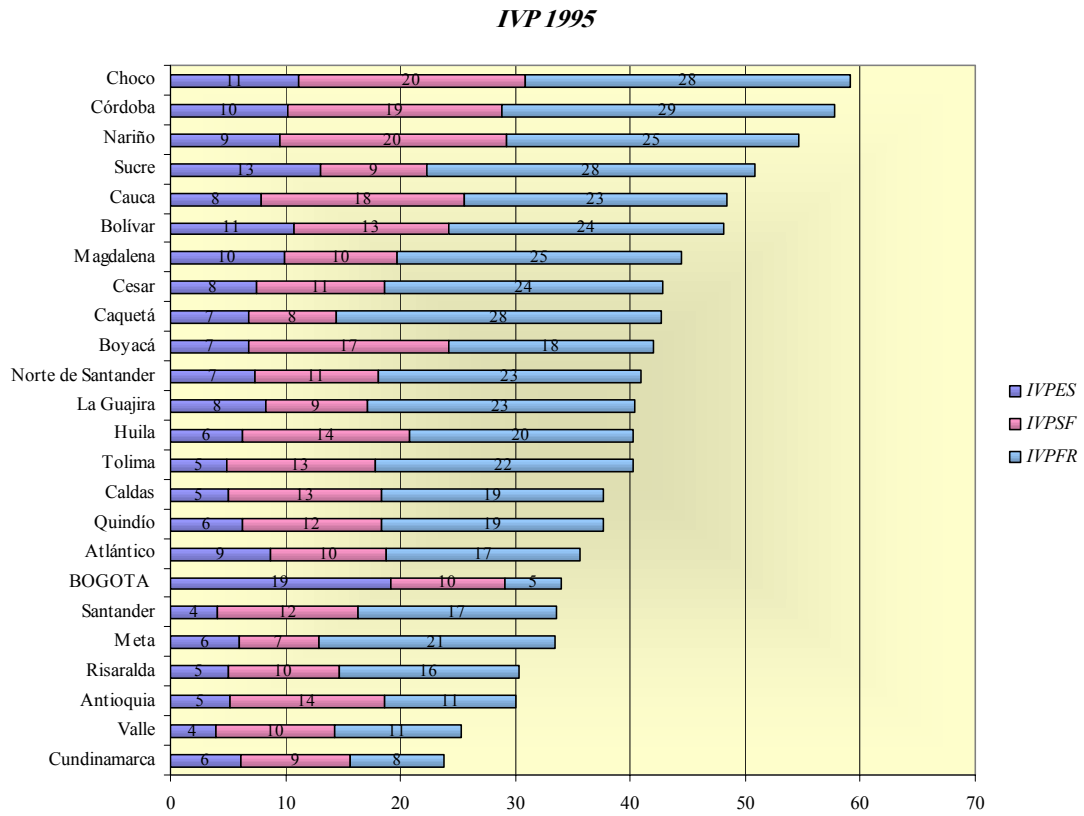


Figura 3.31. Valores de IVP para 1995

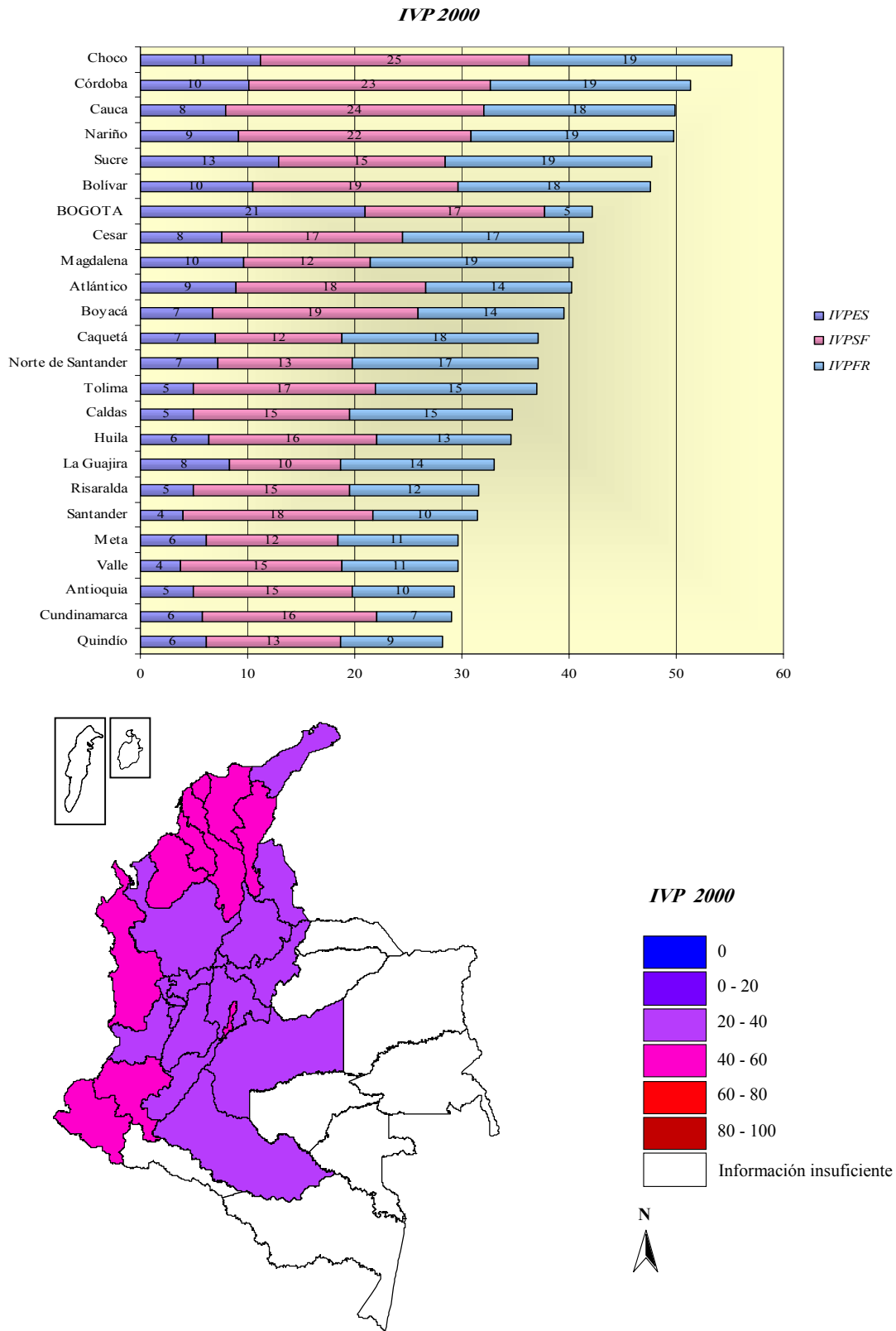


Figura 3.32. Valores de IVP para 2000

### 3.5.3.2. *Índice de desastres locales, IDL*

En la evaluación del *IDL* para el nivel subnacional en Colombia se contemplaron cuatro *períodos* 1981-1985, 1986-1990, 1991-1995, 1996-2000, teniendo en cuenta las personas fallecidas, las afectadas y las pérdidas en cada municipio, causados por cuatro grupos de eventos naturales: deslizamientos y flujos, fenómenos sismo-tectónicos, inundaciones y tormentas y otros eventos. En esta evaluación se utilizó la misma metodología que en los estudios a nivel nacional, sólo que ahora el cálculo es departamental y no nacional.

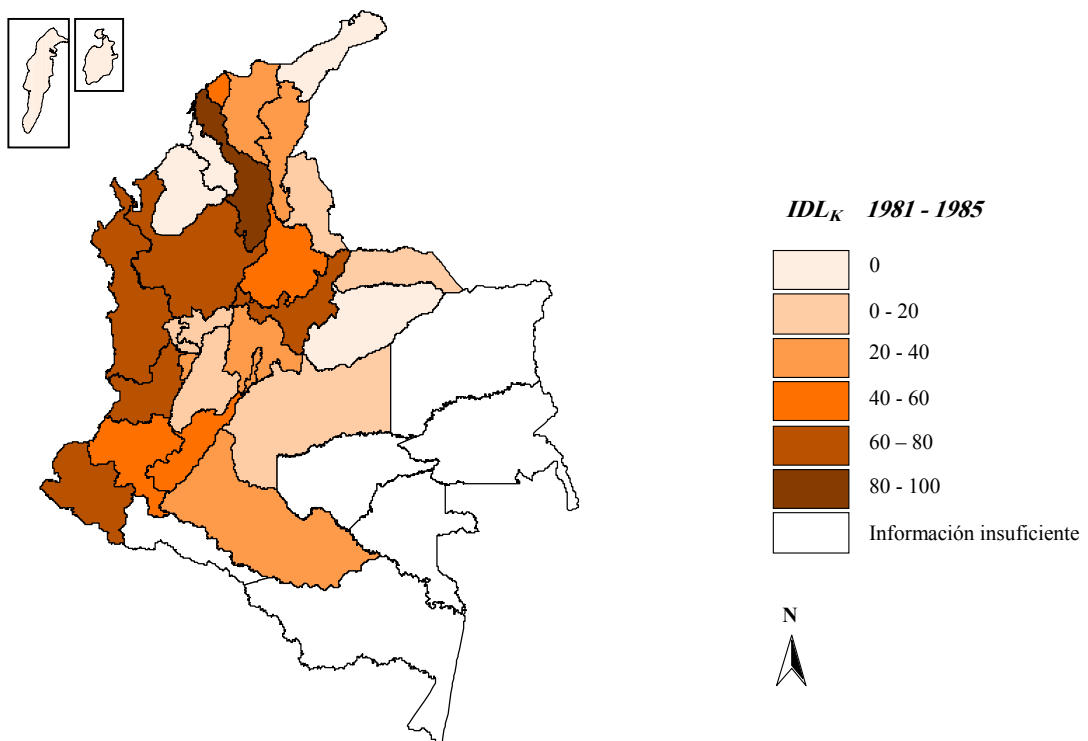
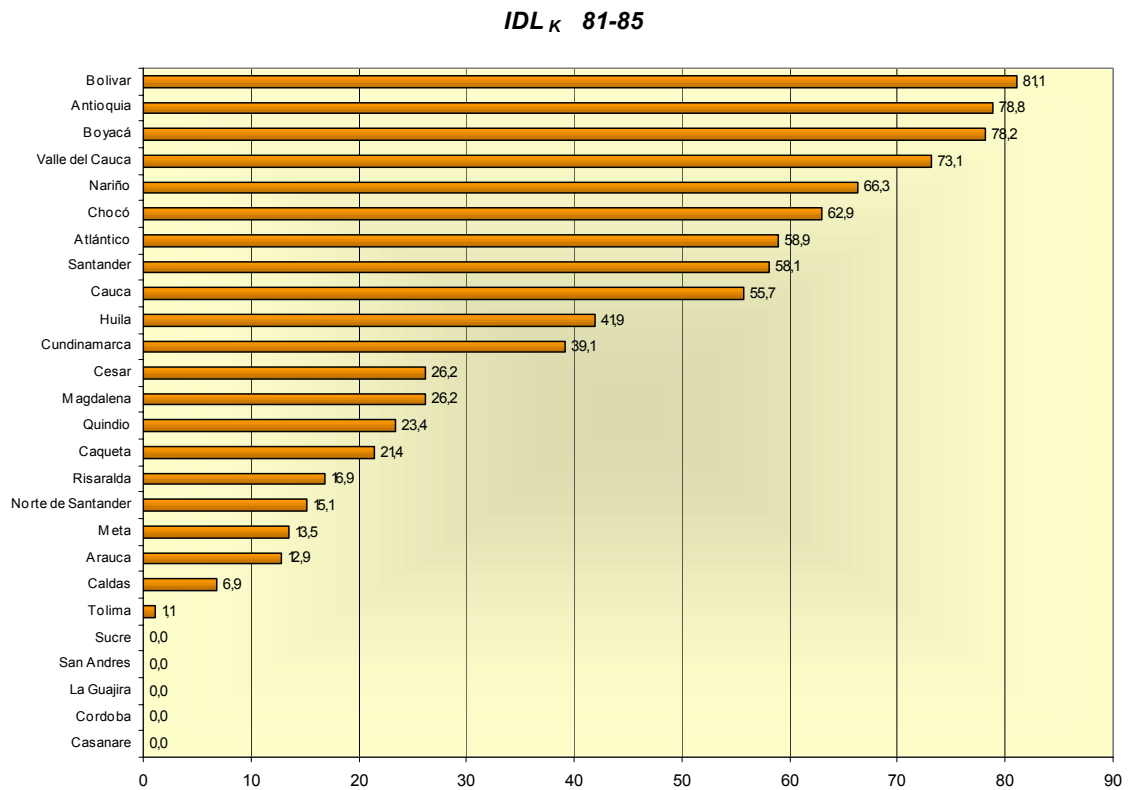
En las figuras 3.33 a 3.43 se muestran los resultados obtenidos para los 3 componentes del *IDL* (*IDL<sub>K</sub>*, *IDL<sub>A</sub>* e *IDL<sub>L</sub>*) y para los 4 períodos considerados; las figuras 3.44 a 3.48 muestran los correspondientes al *IDL* y las figuras 3.49 a 3.52 los correspondientes al índice complementario *IDL'*.

Del estudio del índice de desastres locales en Colombia se pueden identificar los períodos en que las diferentes zonas del país se han visto afectadas en mayor o menor grado por desastres naturales, y determinar la tendencia a sufrir efectos debido a estos. En el período de 1981-1985 se observa que la distribución de los efectos tiene relativamente mayor uniformidad en los municipios correspondientes a los departamentos de Boyacá, Antioquia y Quindío, pero es mínima en los departamentos de Tolima, Guajira y Sucre. En este período se recuerda la ocurrencia del desastre ocasionado en la población de Armero, en el departamento del Tolima, por una avalancha de lodo debida a una erupción del volcán Nevado del Ruiz. En el mismo período el índice de concentración *IDL'* indica que unos pocos municipios presentan la mayor parte de las pérdidas en los departamentos de Antioquia, Nariño, Cauca, Chocó Tolima y Magdalena.

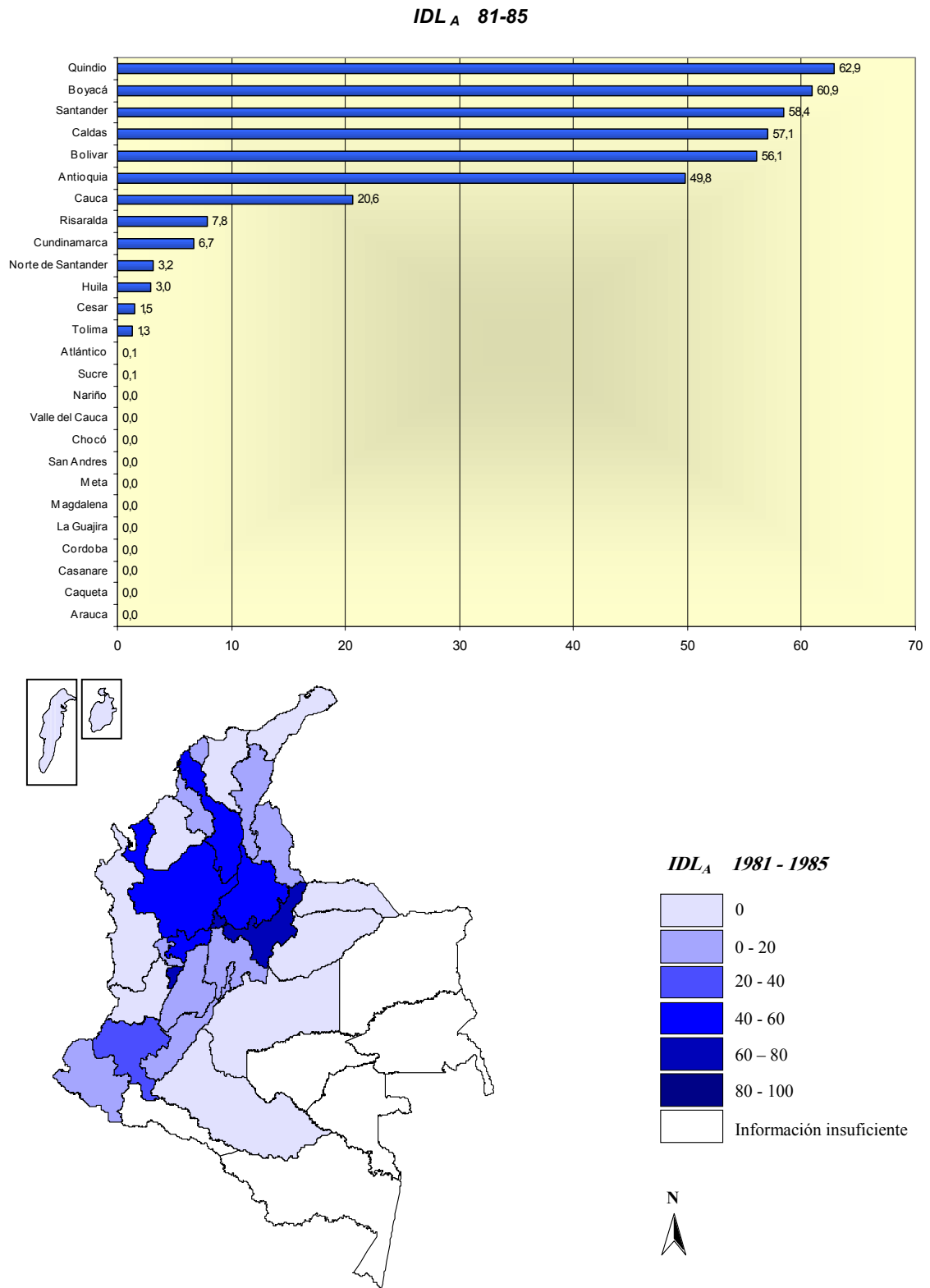
En el período 1986-1990, los departamentos de Cauca, Caldas y Quindío muestran la máxima uniformidad en la distribución de efectos en los municipios, mientras que esta es mínima en los departamentos de Bolívar, Magdalena, Huila, Caquetá y Arauca. En el mismo período, el *IDL'* indica que unos pocos municipios concentran la mayoría de las pérdidas en el departamento de Antioquia.

Entre 1991 y 1995 se presentan los valores más altos para el *IDL*, lo que indica la máxima uniformidad en la distribución de efectos en los departamentos de Santander, Nariño, Caldas, Risaralda, Valle del Cauca y Huila. Los valores mínimos corresponden a los departamentos de Cesar, Córdoba y Sucre. El *IDL'* de Boyacá, Cauca, Huila, Sucre, Risaralda, Tolima y Caldas indica la alta concentración de los efectos en pocos municipios.

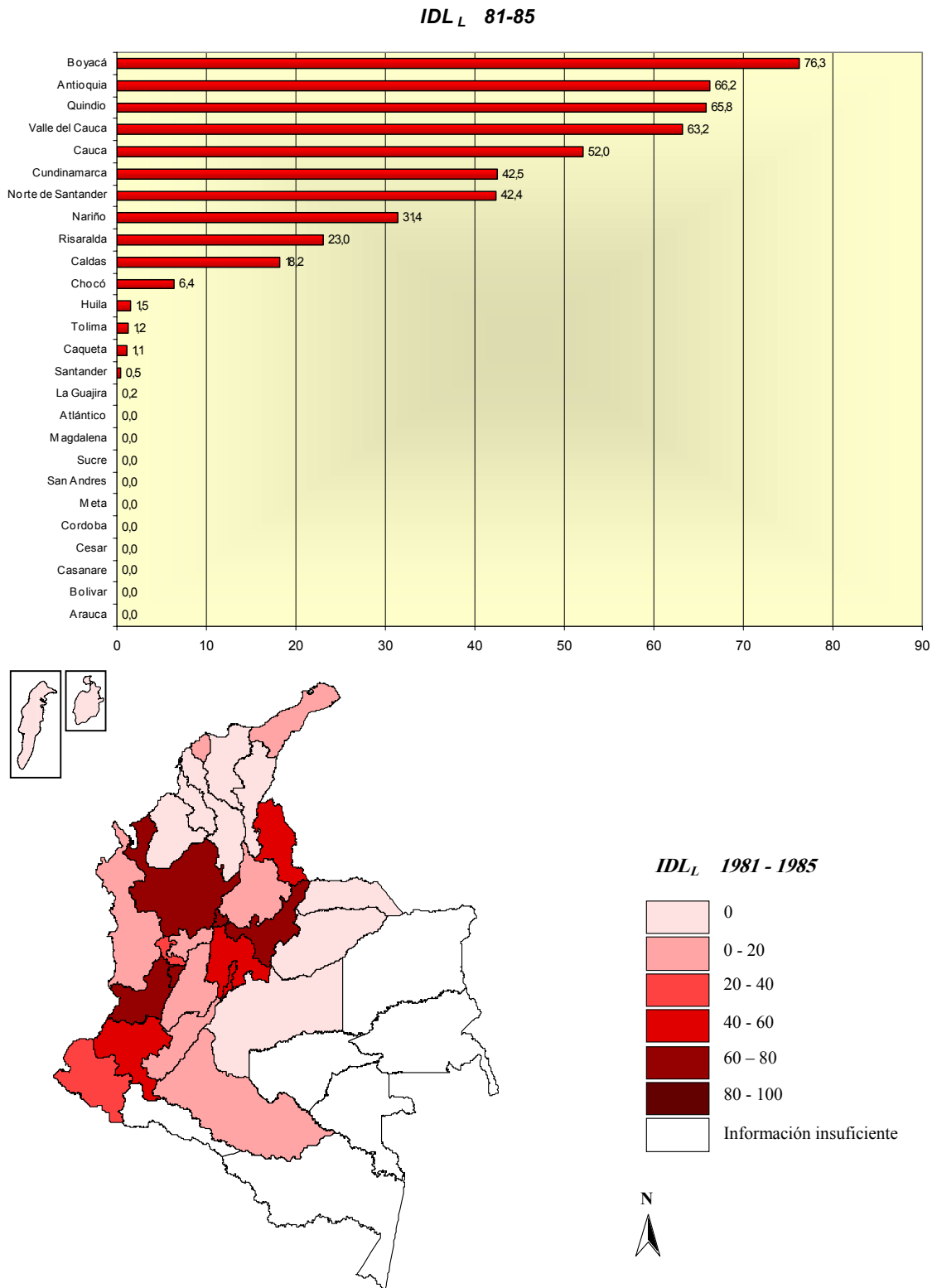
Para el período 1996-2000, se presenta la mayor uniformidad en los departamentos de Cauca, Boyacá y Valle del Cauca, y mínima en Atlántico, Arauca, Quindío, Casanare, Magdalena, Guajira y Bolívar. El *IDL'* indica una alta concentración de efectos en Antioquia, Casanare, Cundinamarca, Cesar, Risaralda, Córdoba y Nariño. Esta información coincide con el terremoto de 1999 en el eje Cafetero que afectó principalmente a la ciudad de Armenia en Quindío y algunas poblaciones en el departamento de Risaralda.



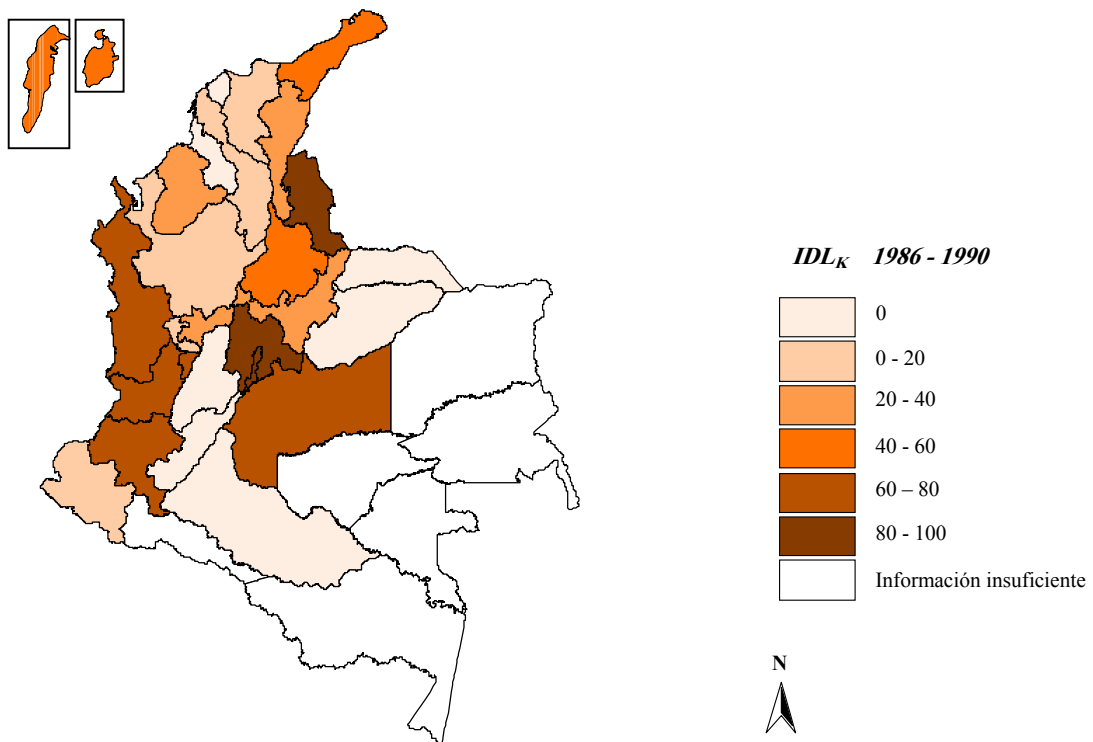
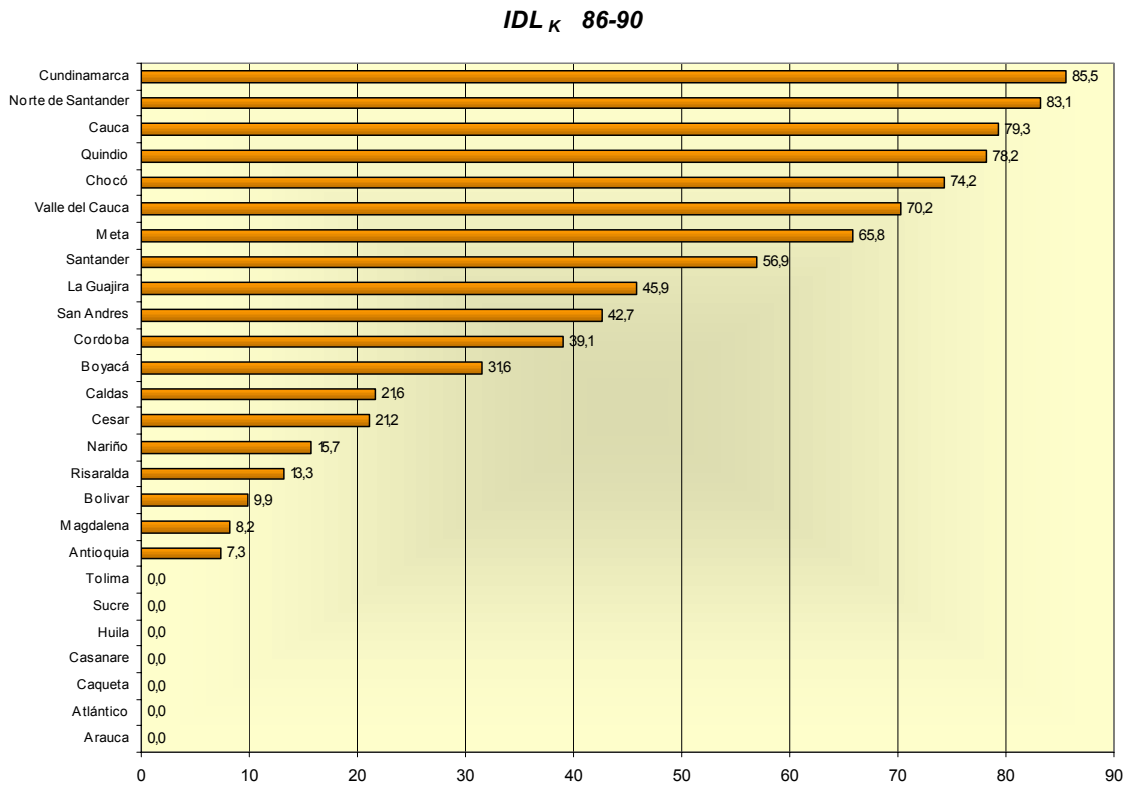
**Figura 3.33. Valores de  $IDL_K$  para el período 1981 - 1985**



**Figura 3.34. Valores de IDL<sub>A</sub> para el período 1981 - 1985**

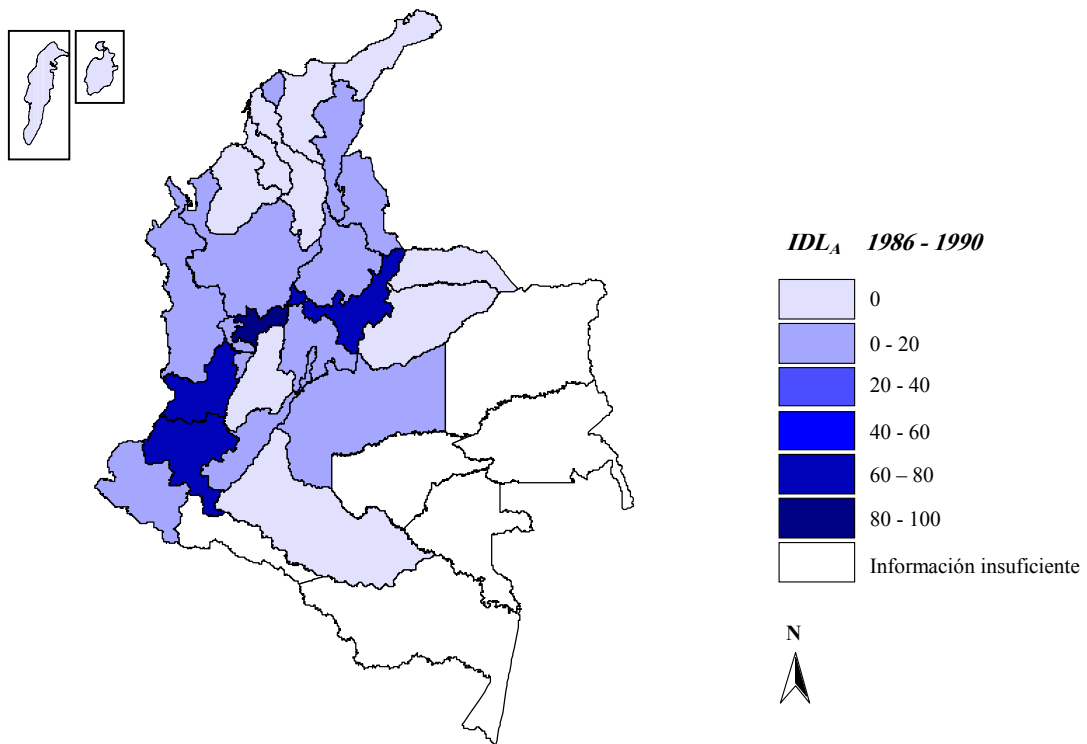
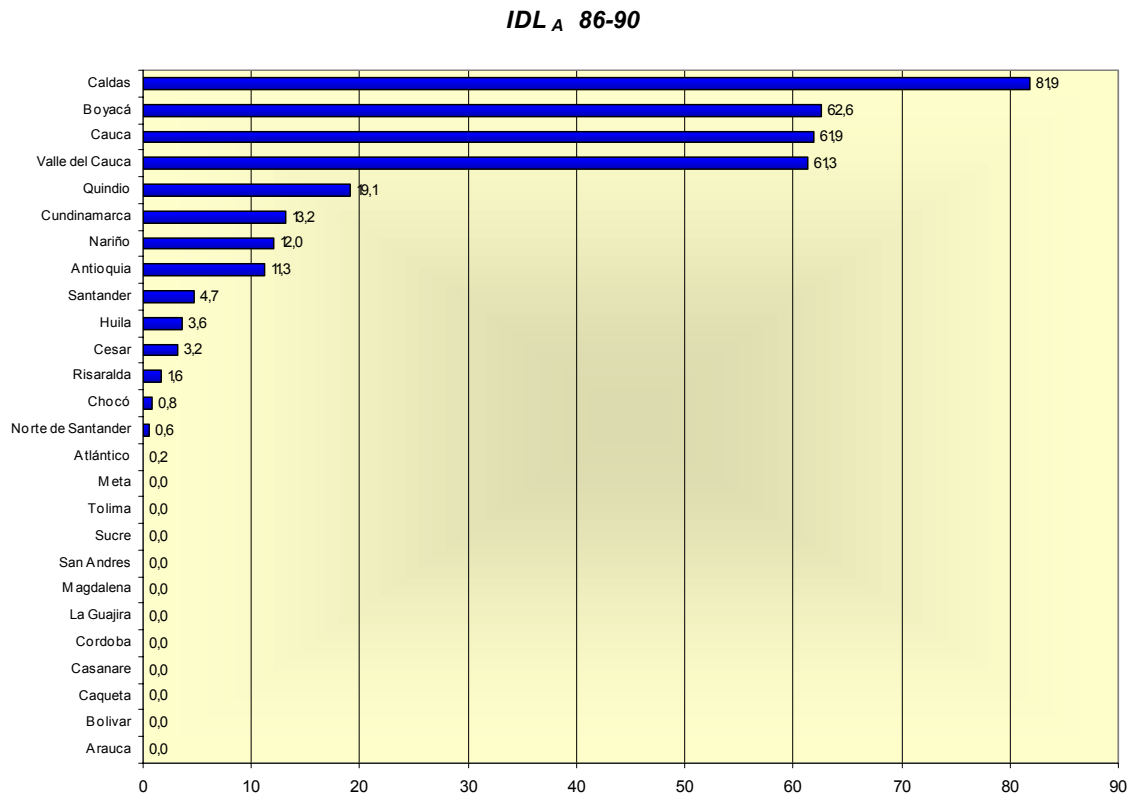


**Figura 3.35. Valores de IDL<sub>L</sub> para el período 1981 - 1985**



**Figura 3.36. Valores de IDL<sub>K</sub> para el período 1986 - 1990**





**Figura 3.37. Valores de IDL<sub>A</sub> para el período 1986 - 1990**

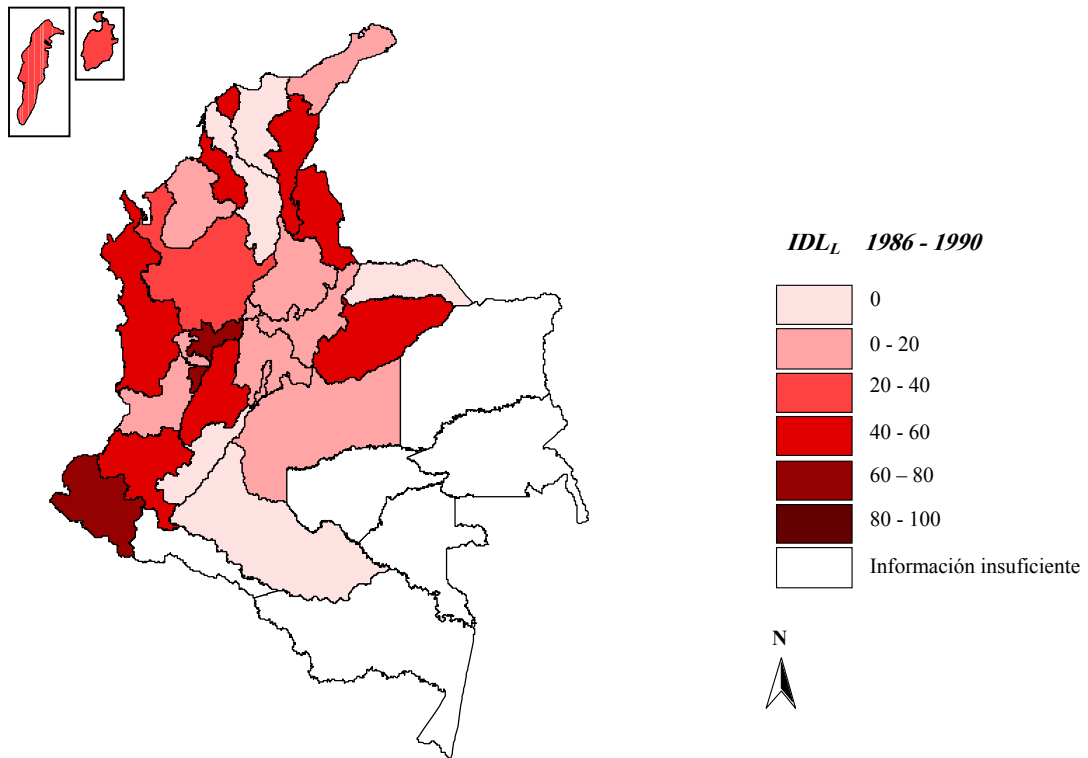
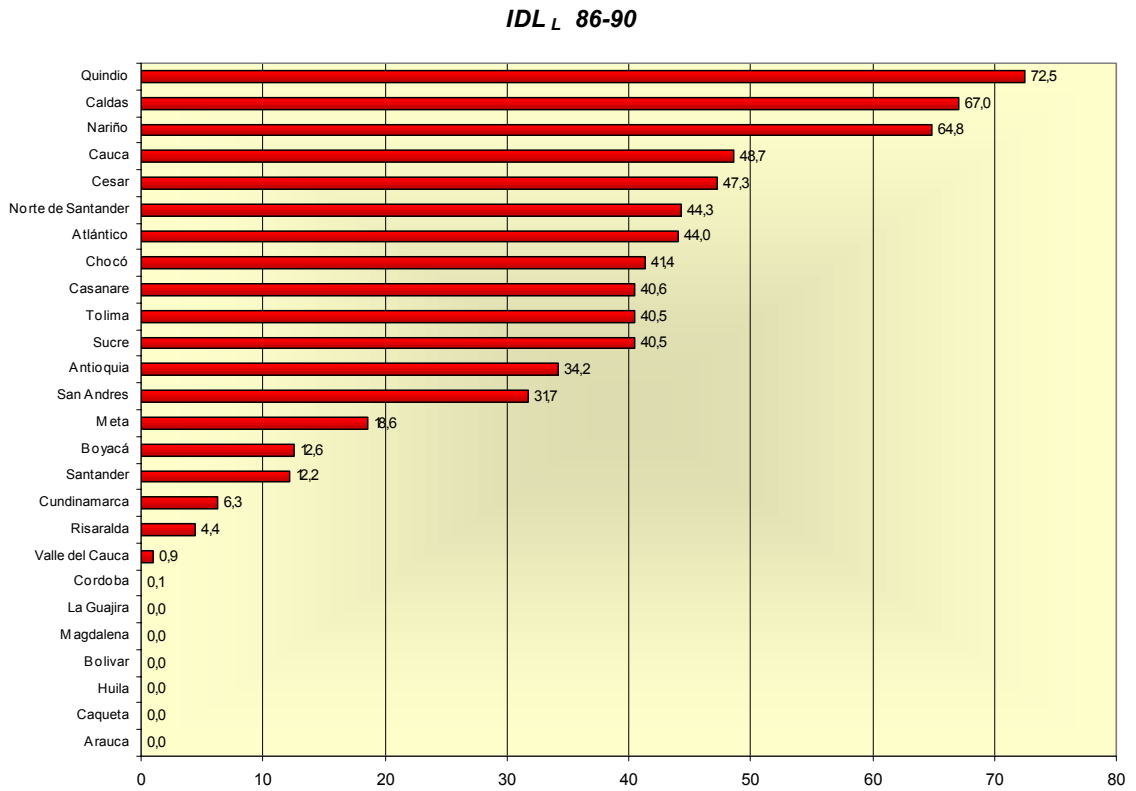
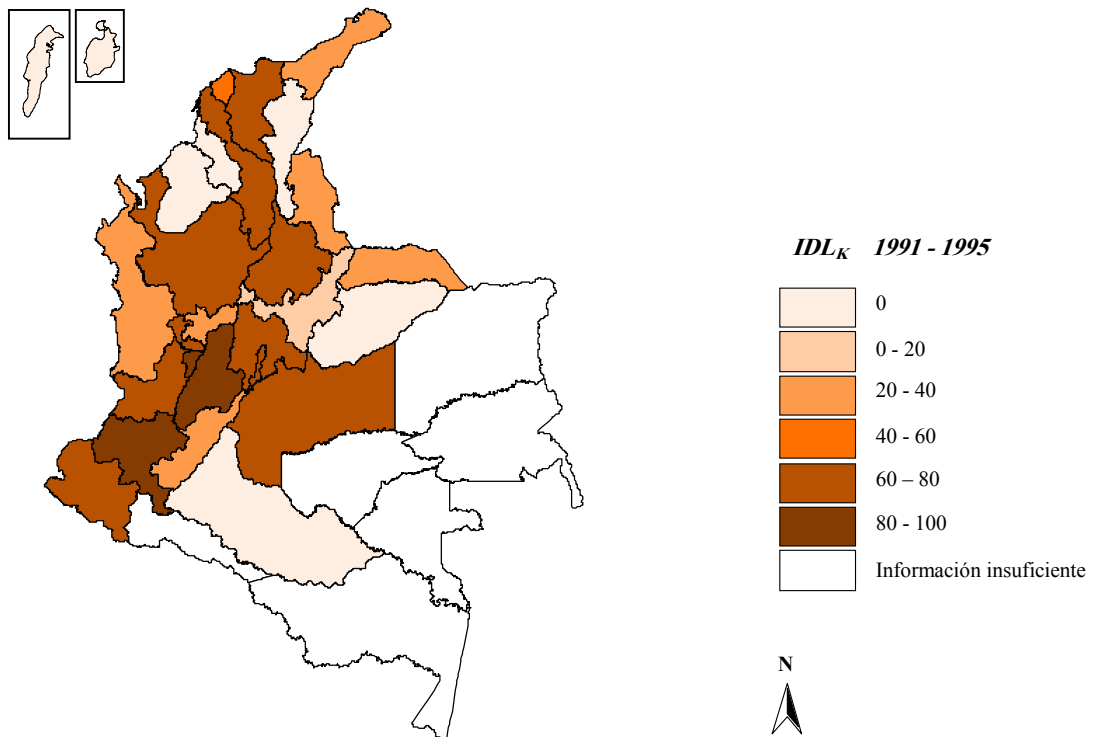
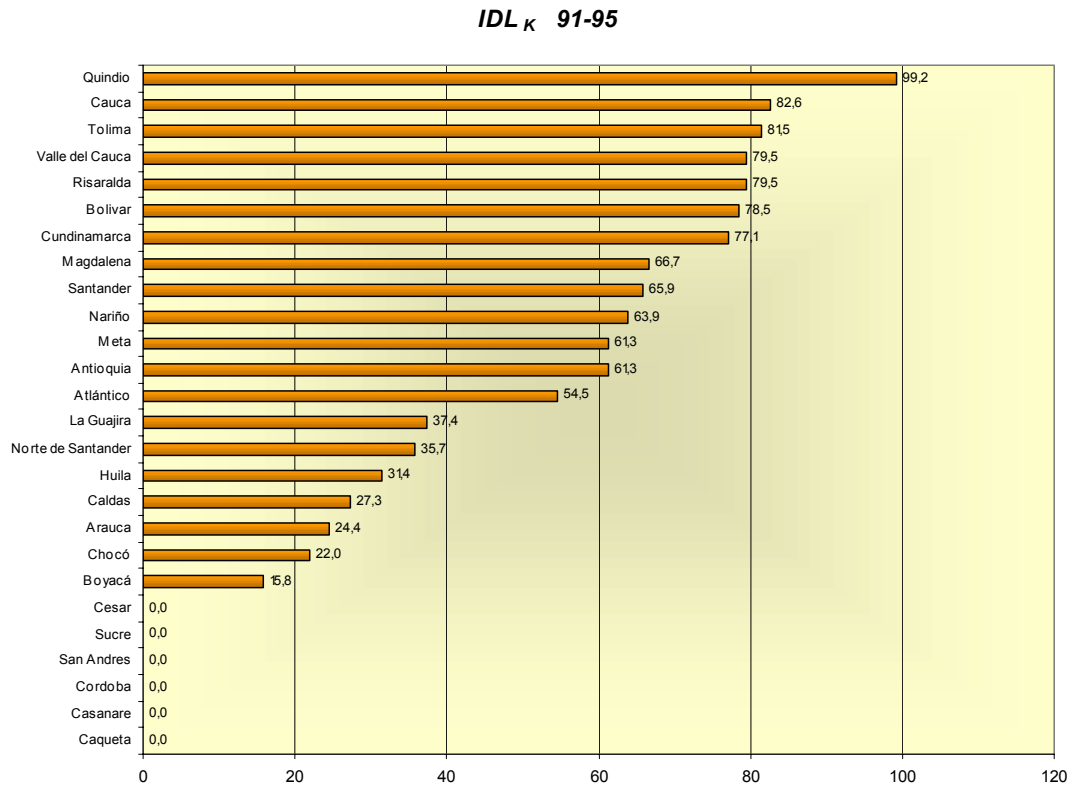
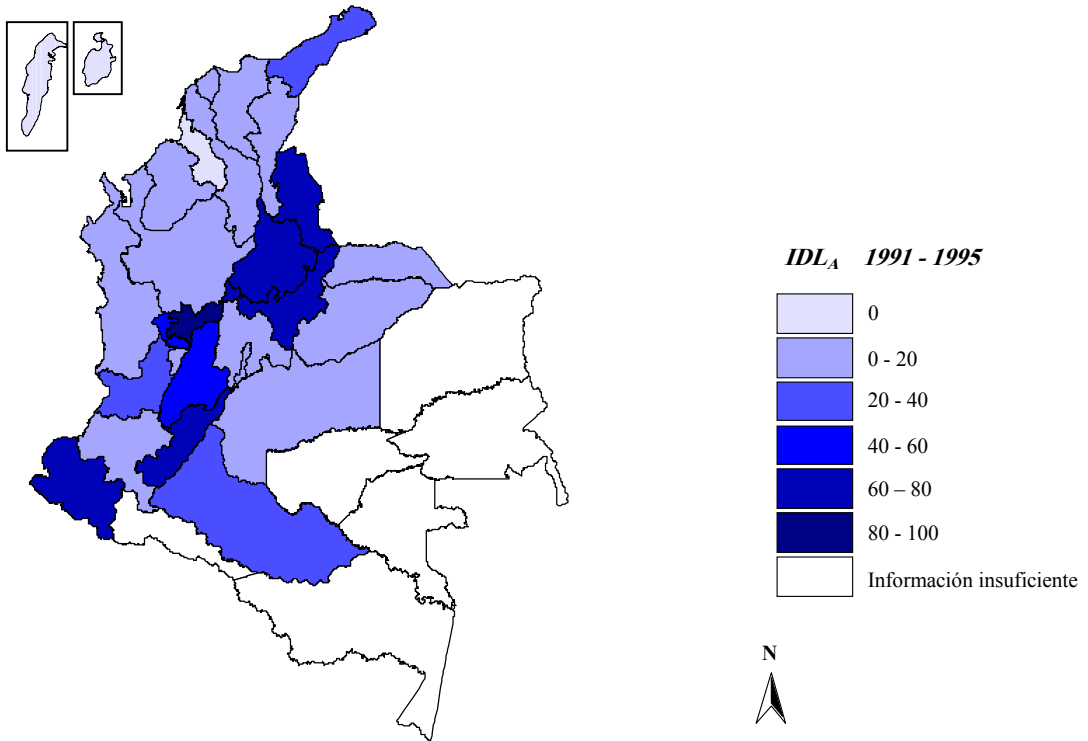
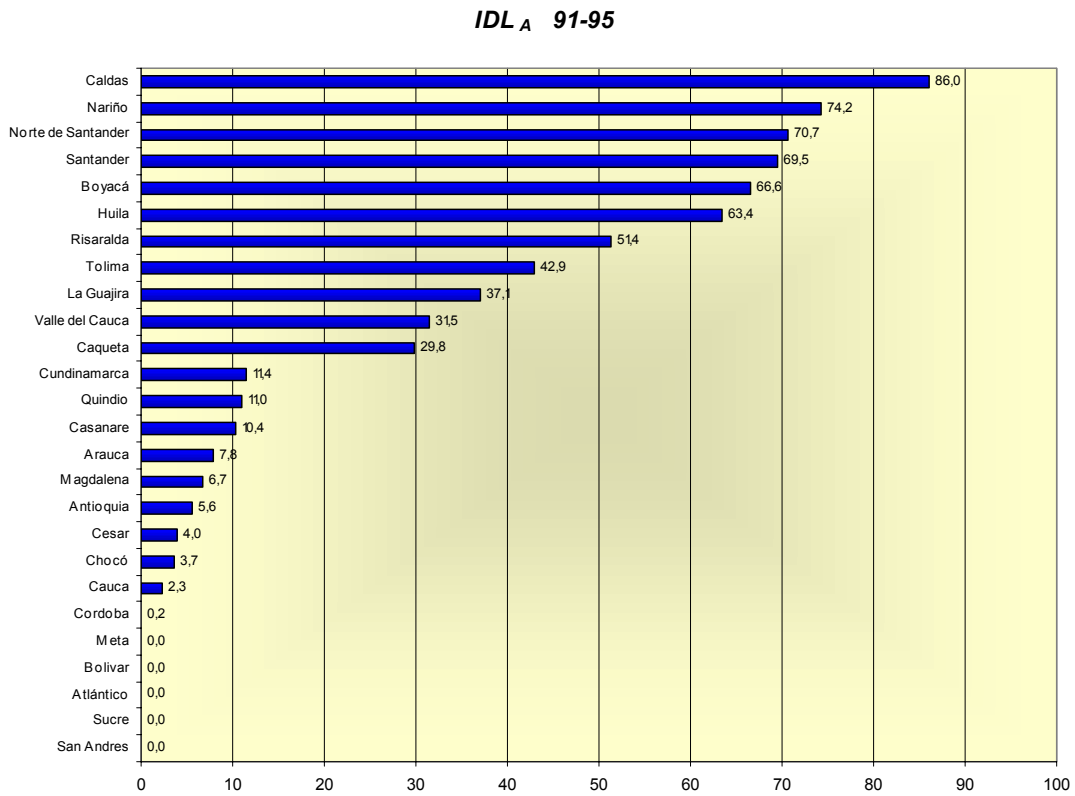


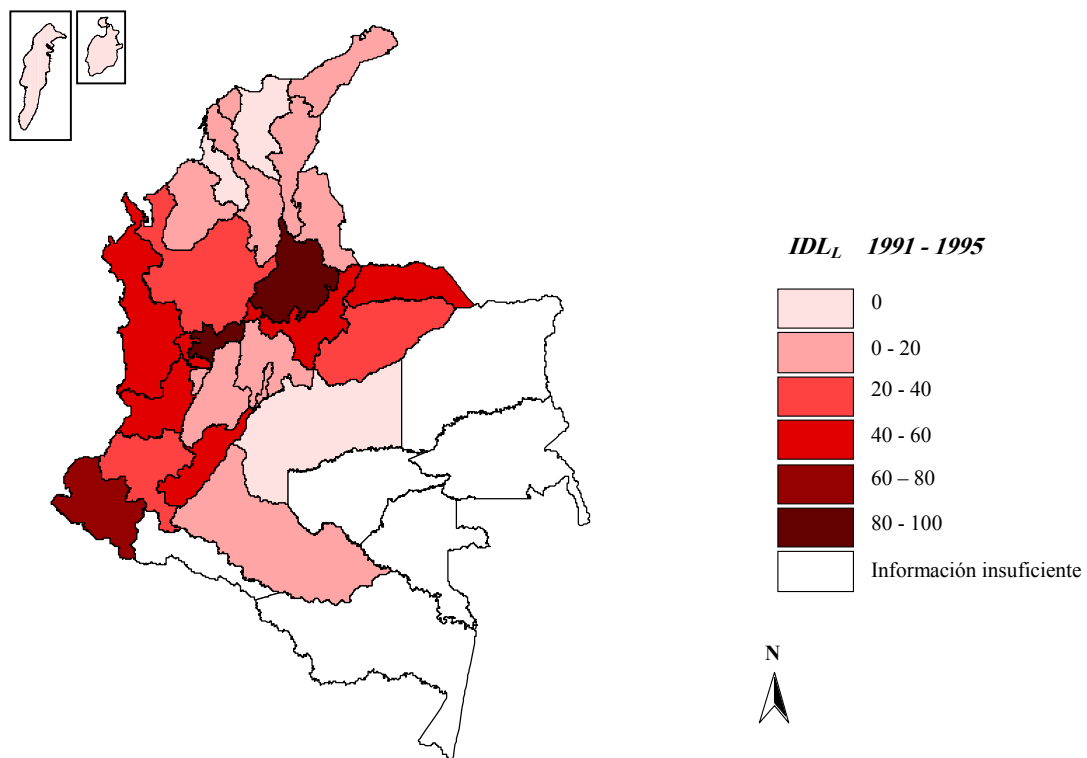
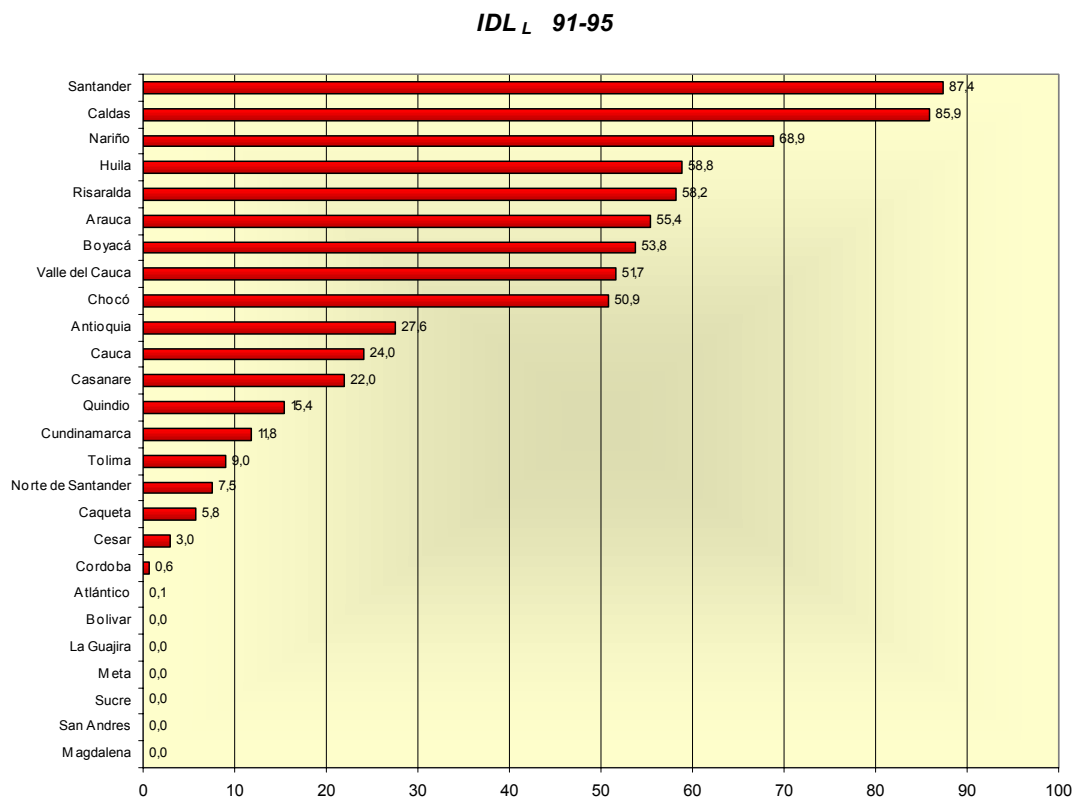
Figura 3.38. Valores de IDL<sub>L</sub> para el período 1986 - 1990



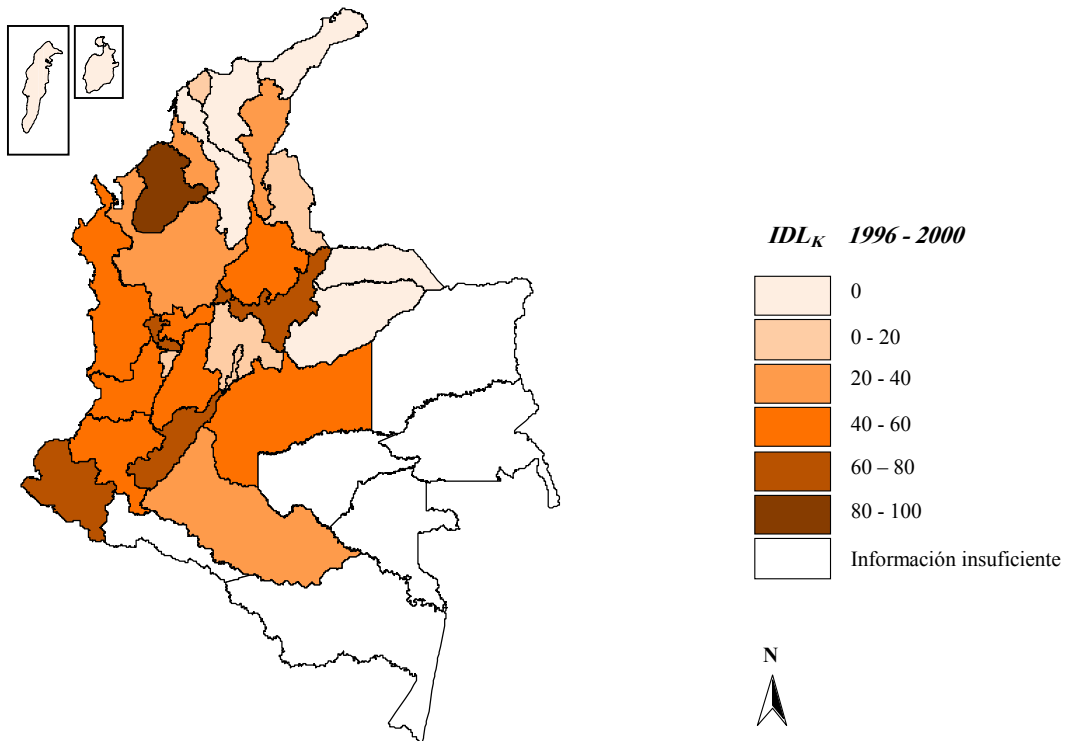
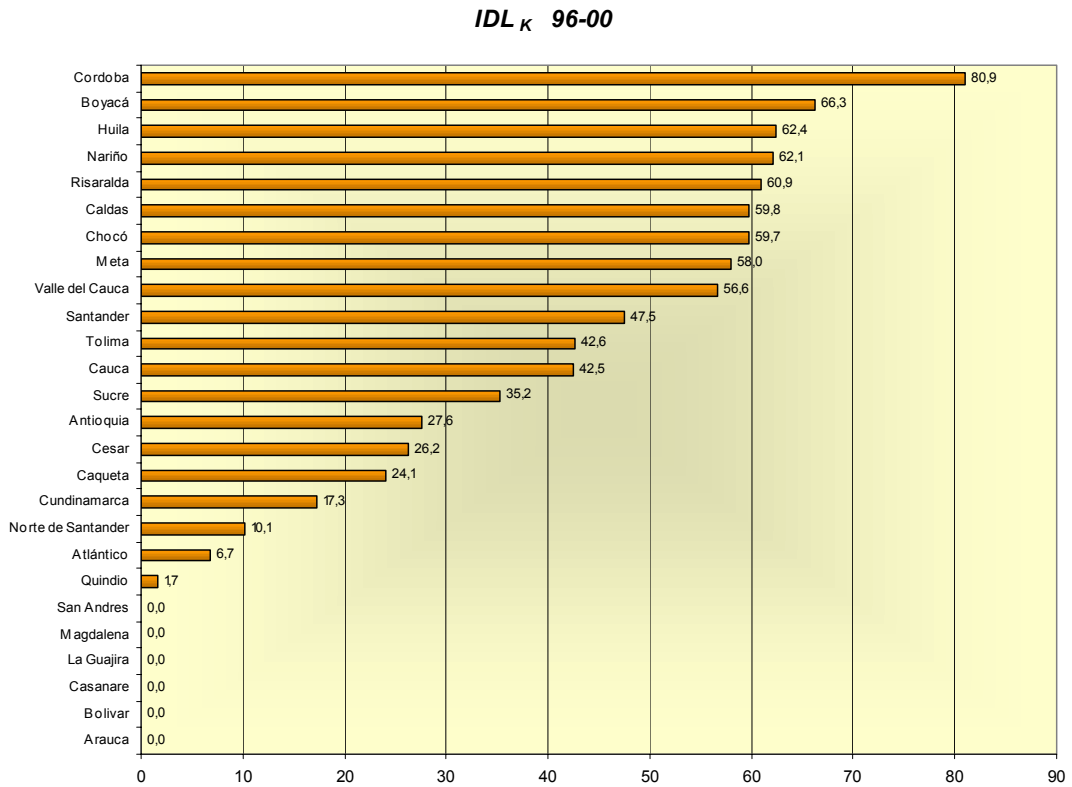
**Figura 3.39. Valores de IDL<sub>K</sub> para el período 1991 - 1995**



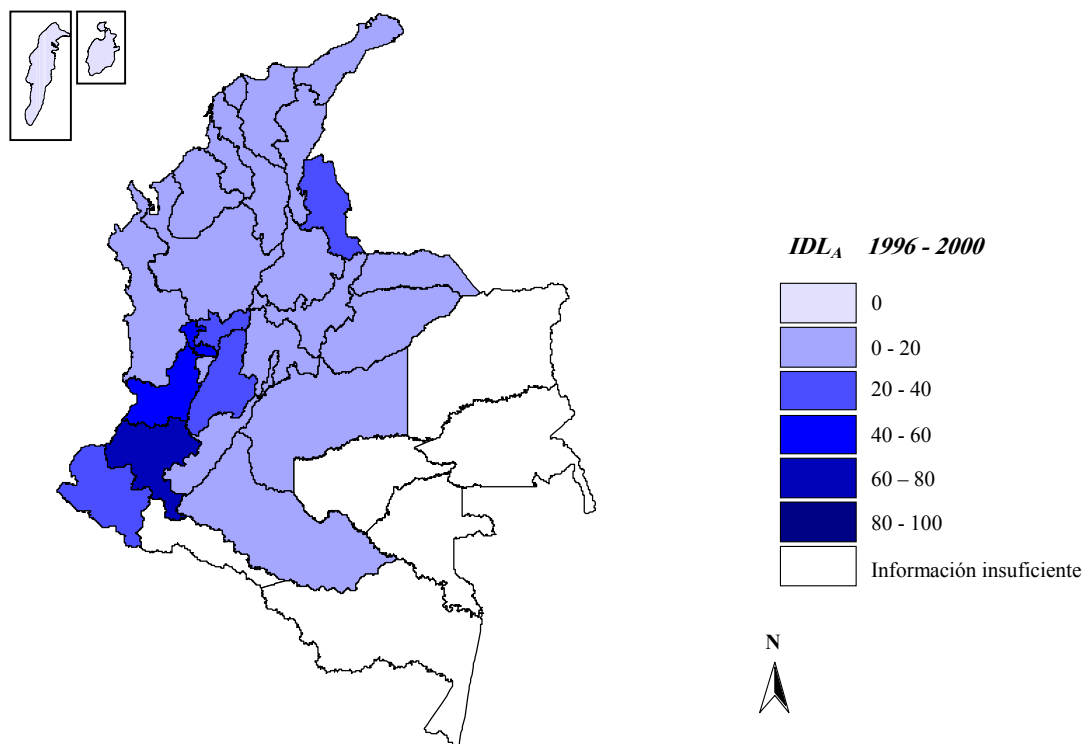
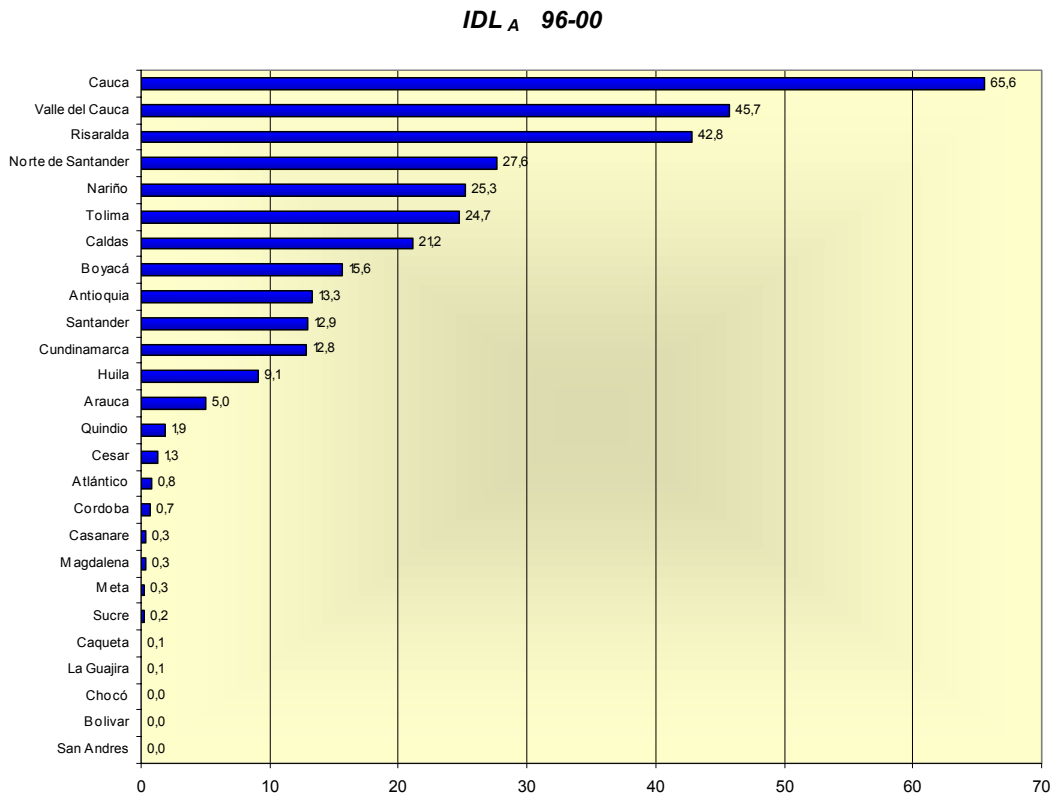
**Figura 3.40. Valores de IDL<sub>A</sub> para el período 1991 - 1995**



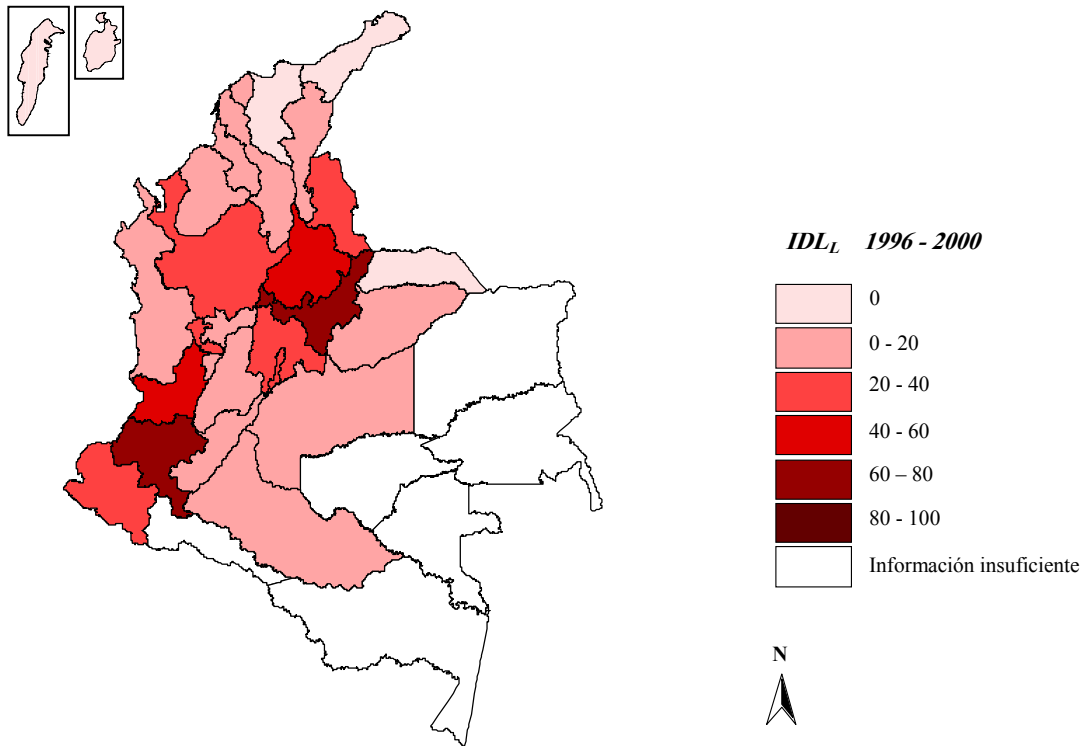
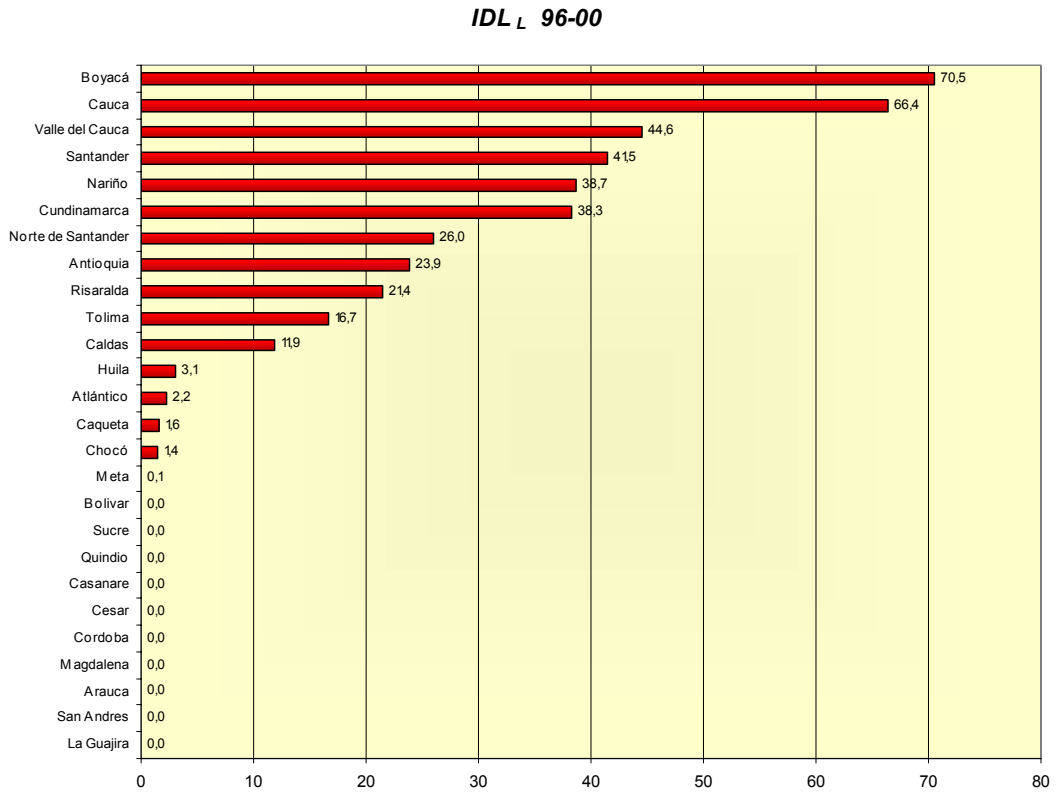
**Figura 3.41. Valores de IDL<sub>L</sub> para el período 1991 - 1995**



**Figura 3.42. Valores de IDL<sub>K</sub> para el período 1996 - 2000**

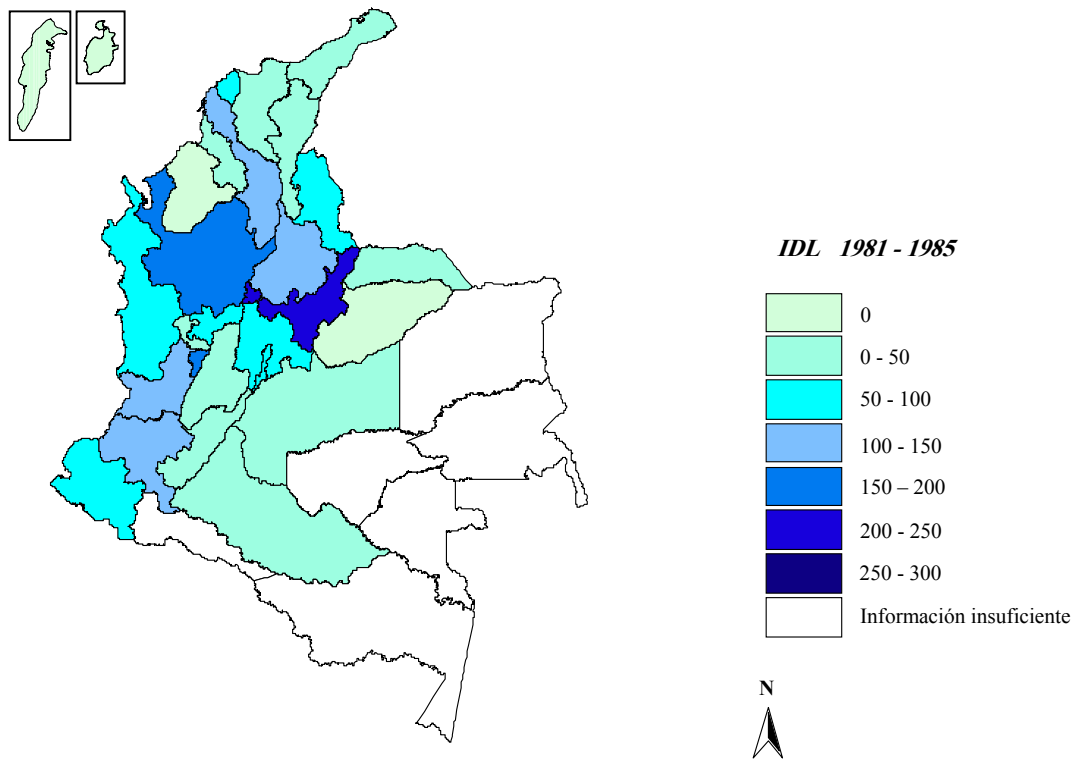
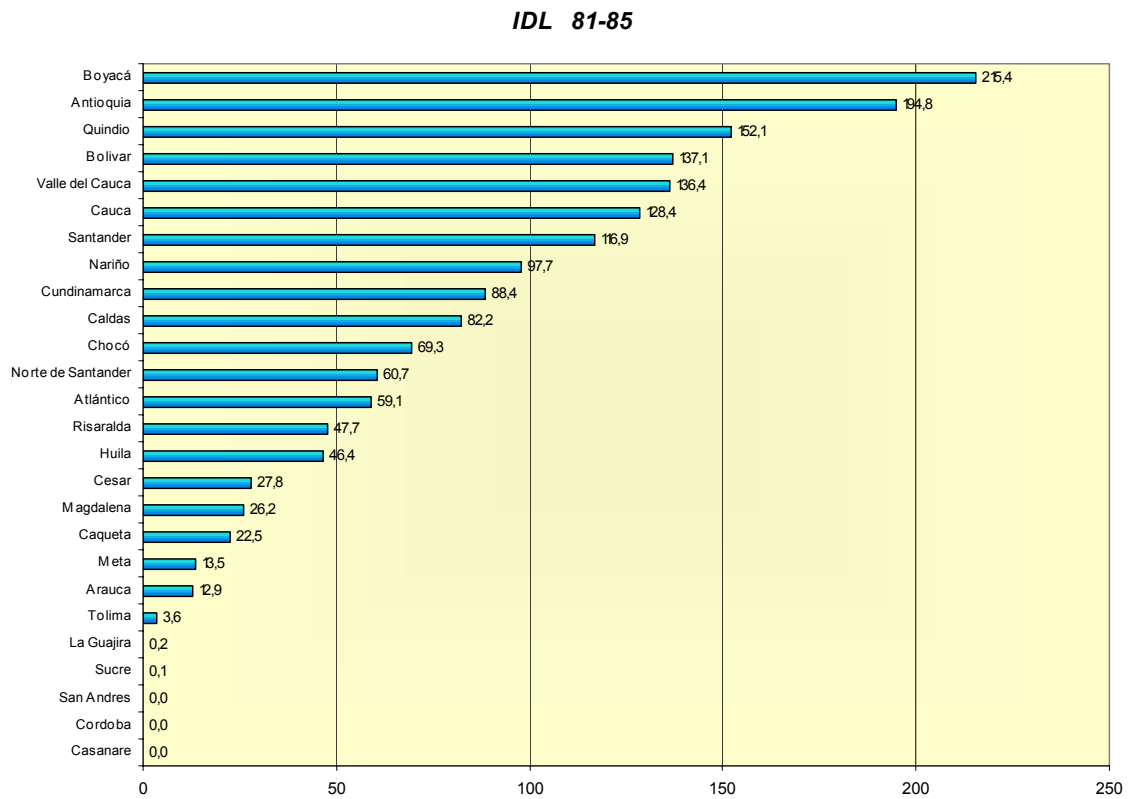


**Figura 3.43. Valores de IDL<sub>A</sub> para el período 1996 - 2000**



**Figura 3.44. Valores de IDL<sub>L</sub> para el período 1996 - 2000**





**Figura 3.45. Valores de IDL para el período 1981 - 1985**

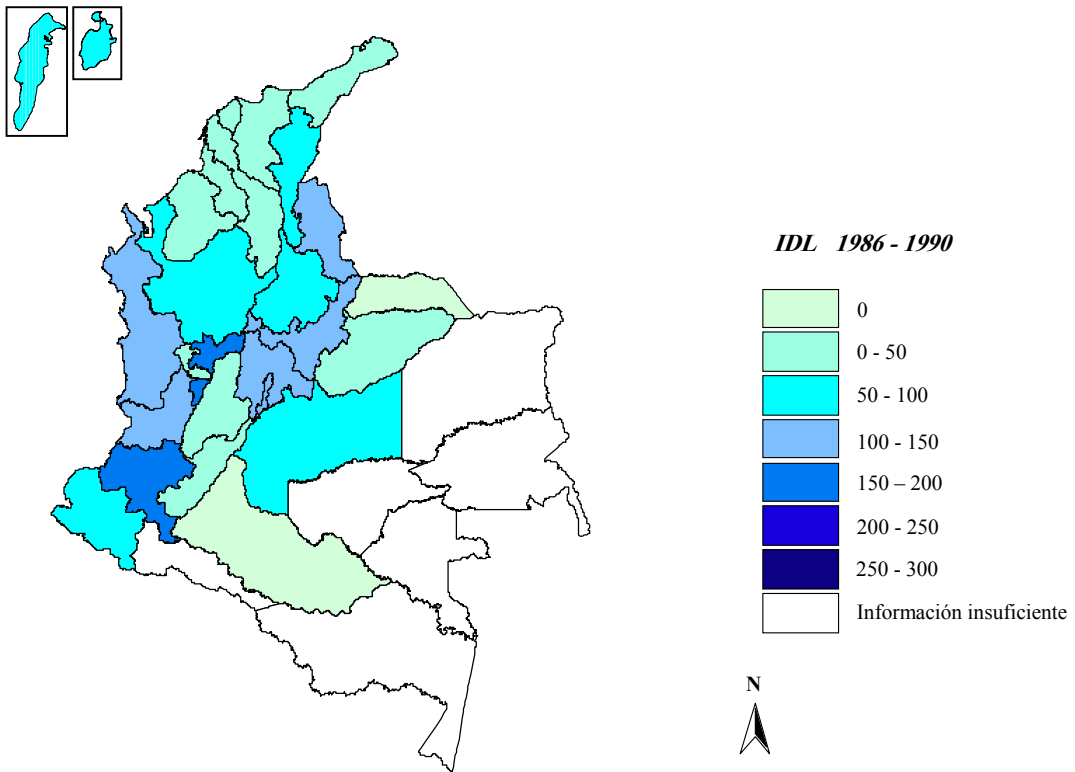
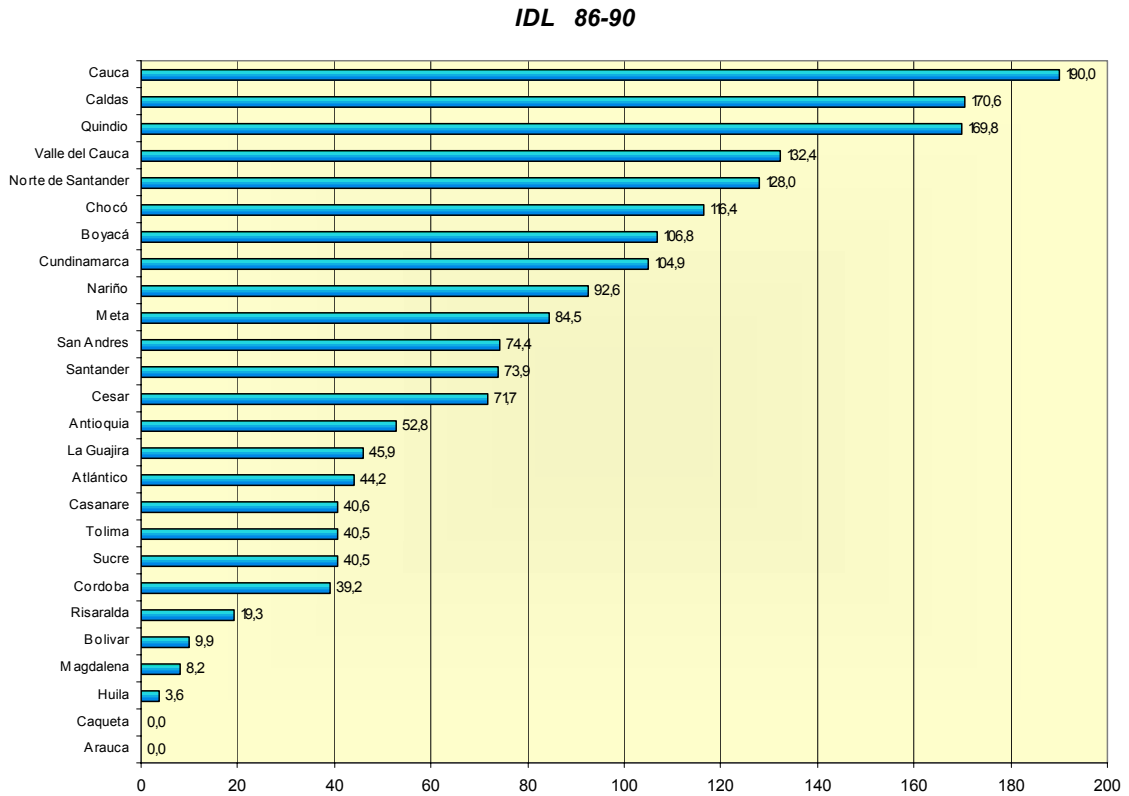


Figura 3.46. Valores de IDL para el período 1986 - 1990

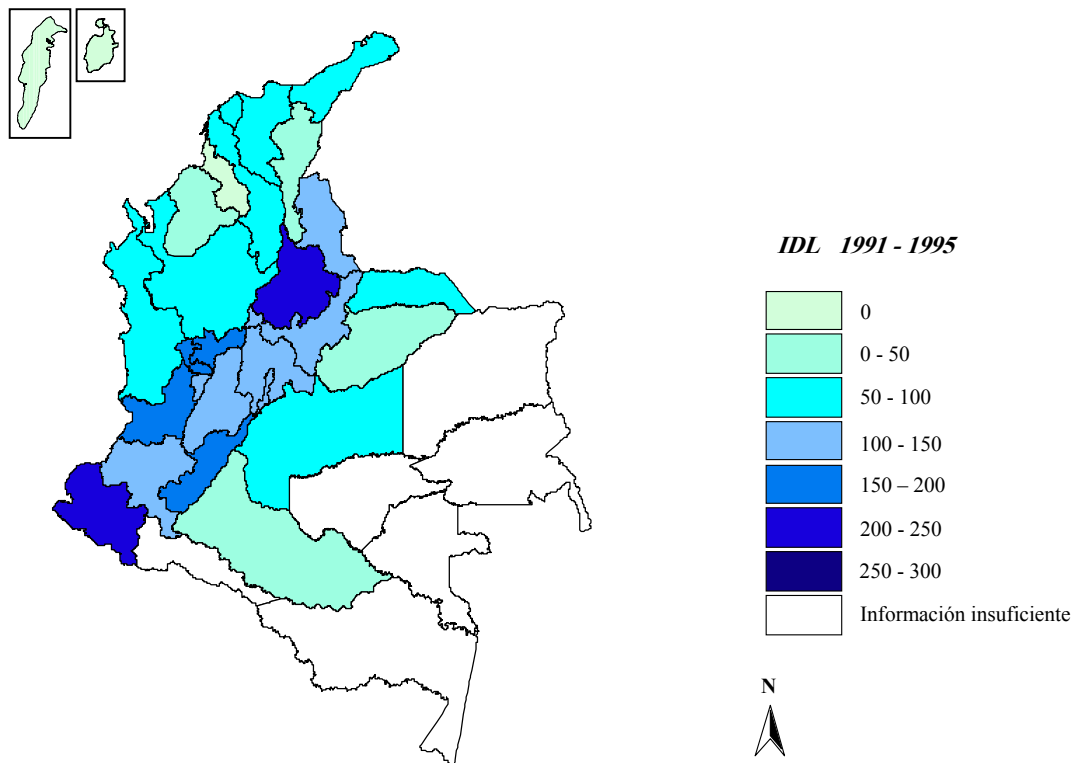
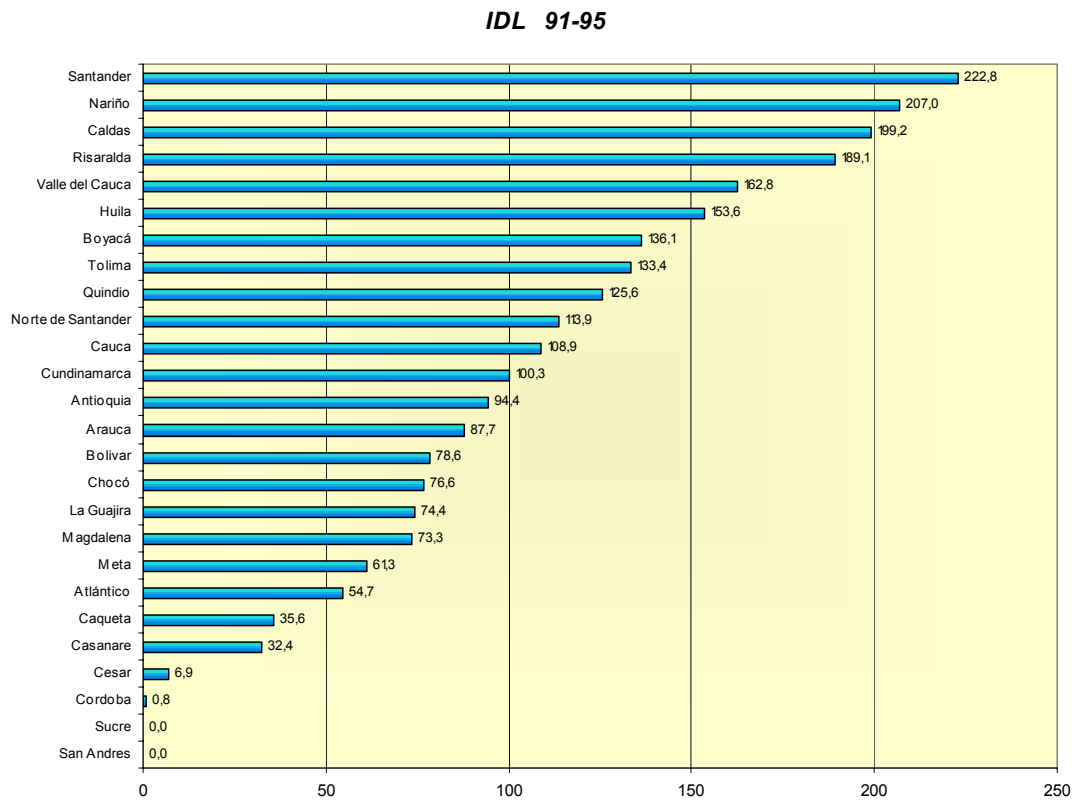


Figura 3.47. Valores de IDL para el período 1991 - 1995

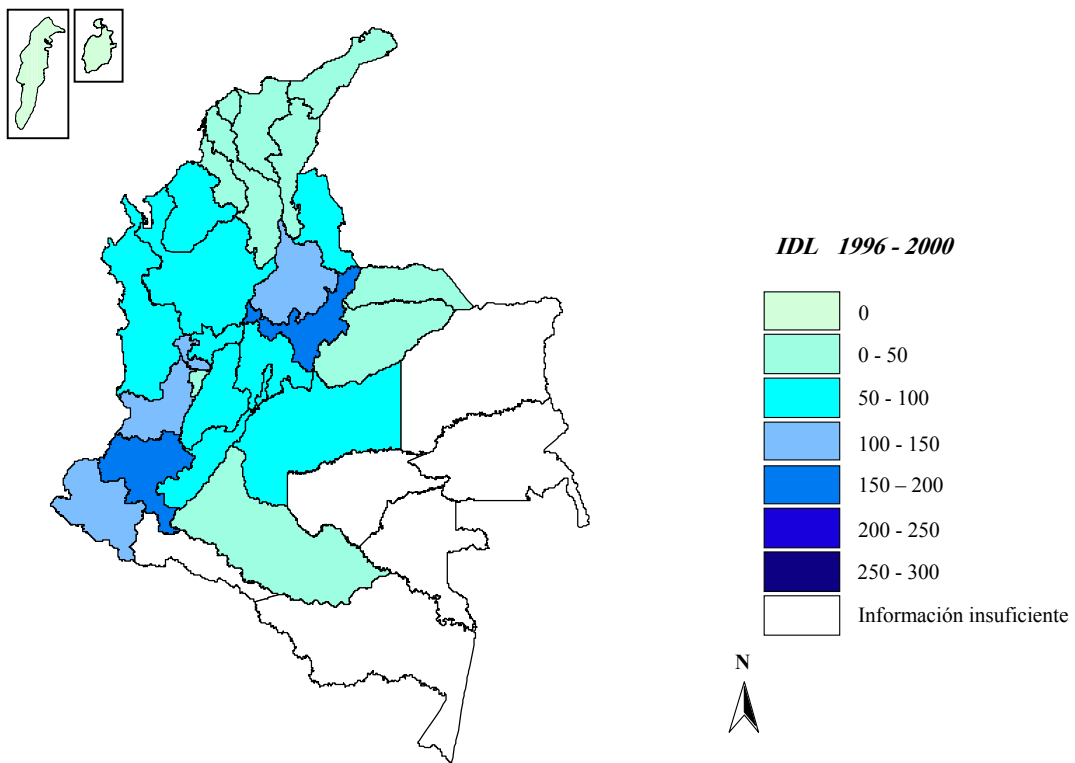
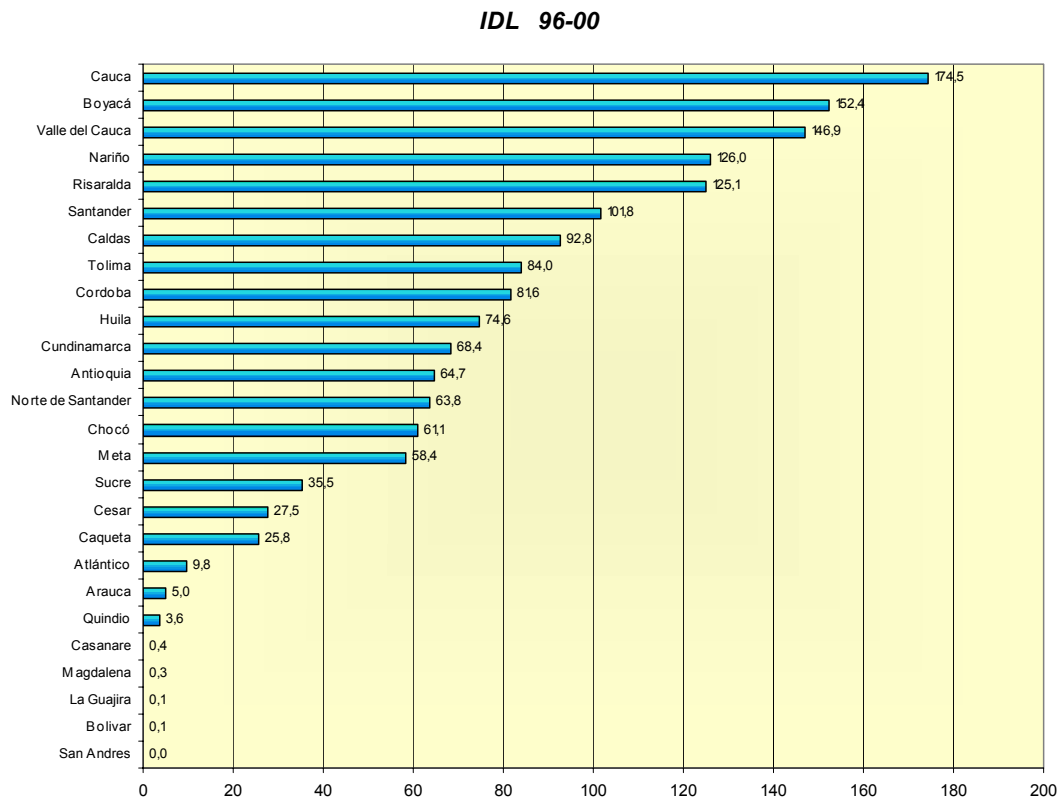
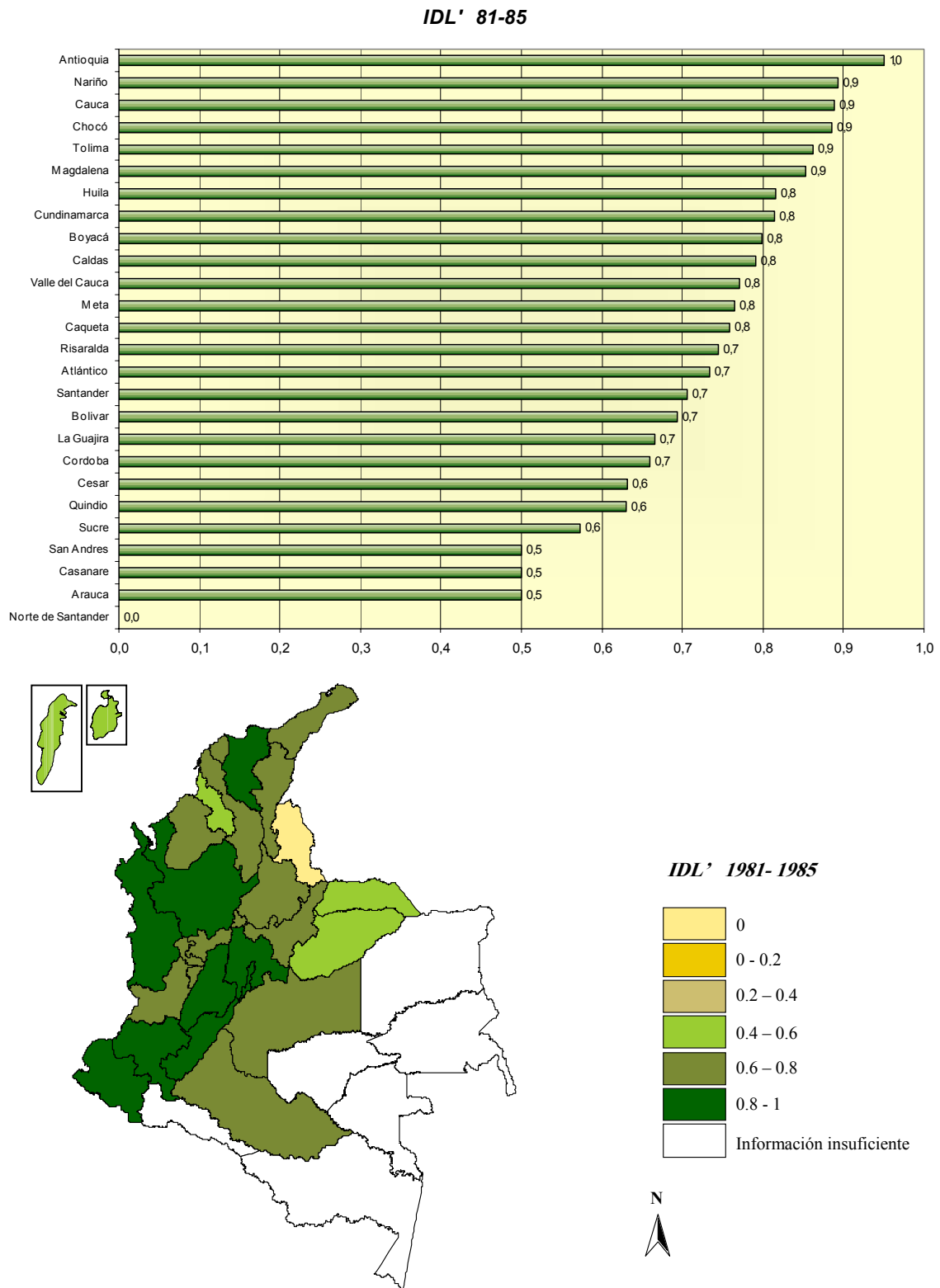
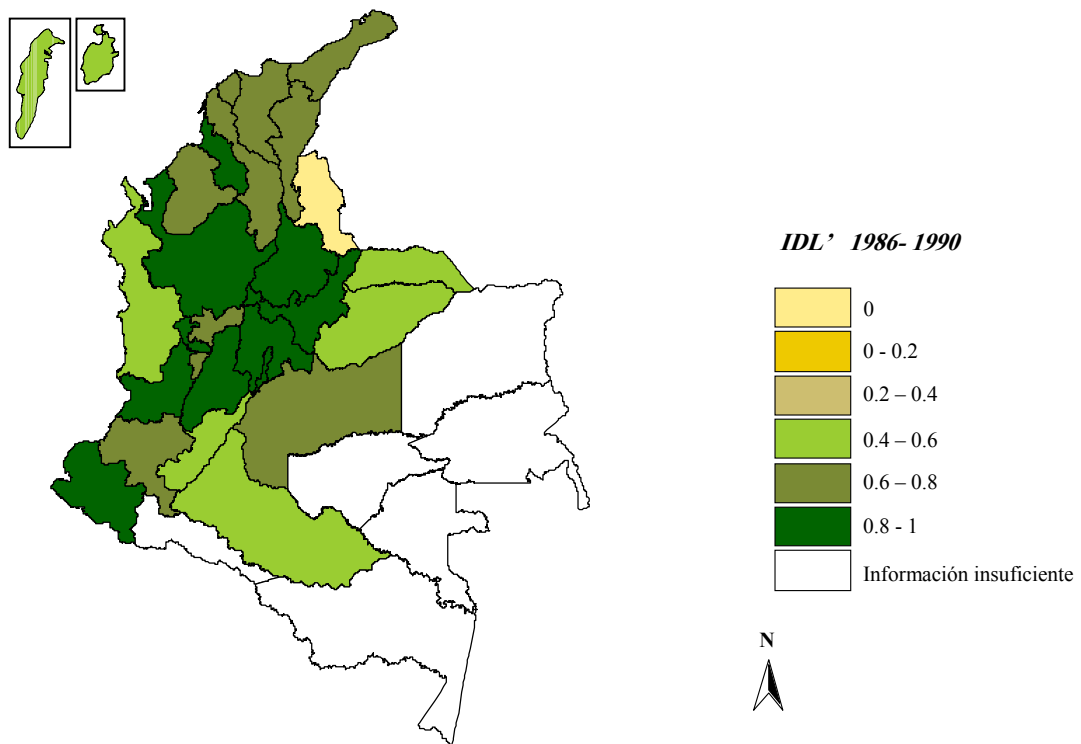
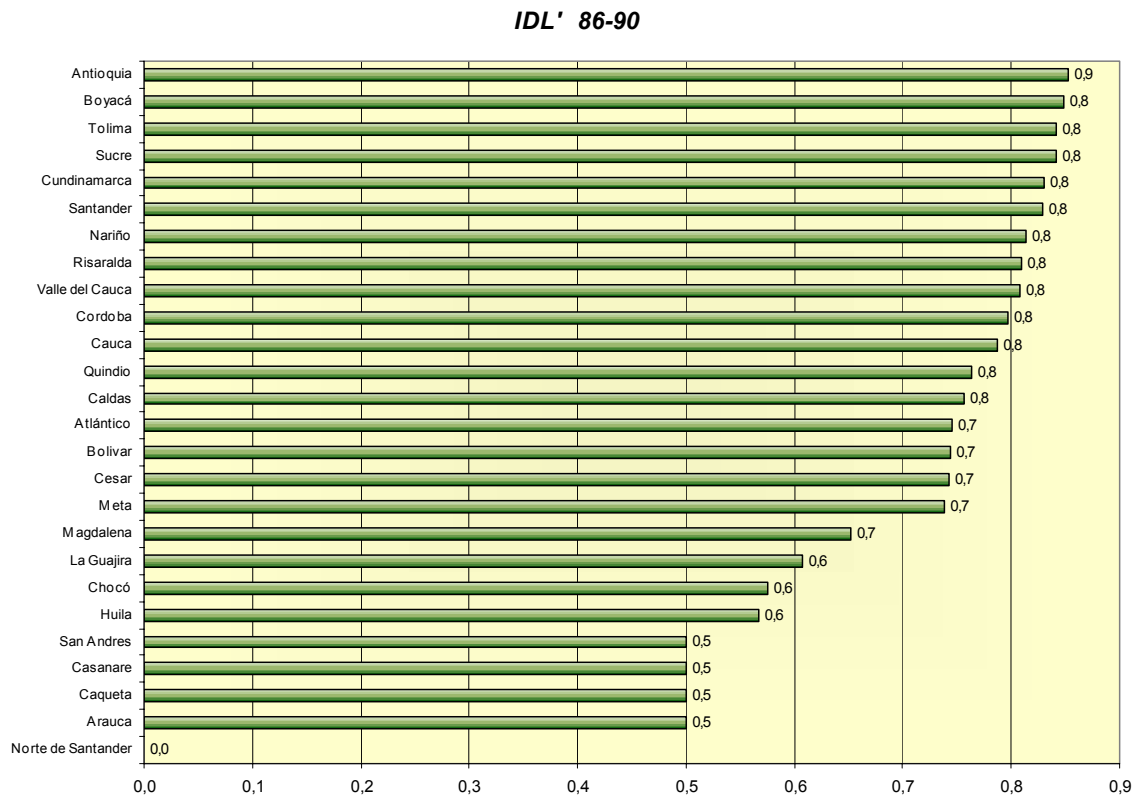


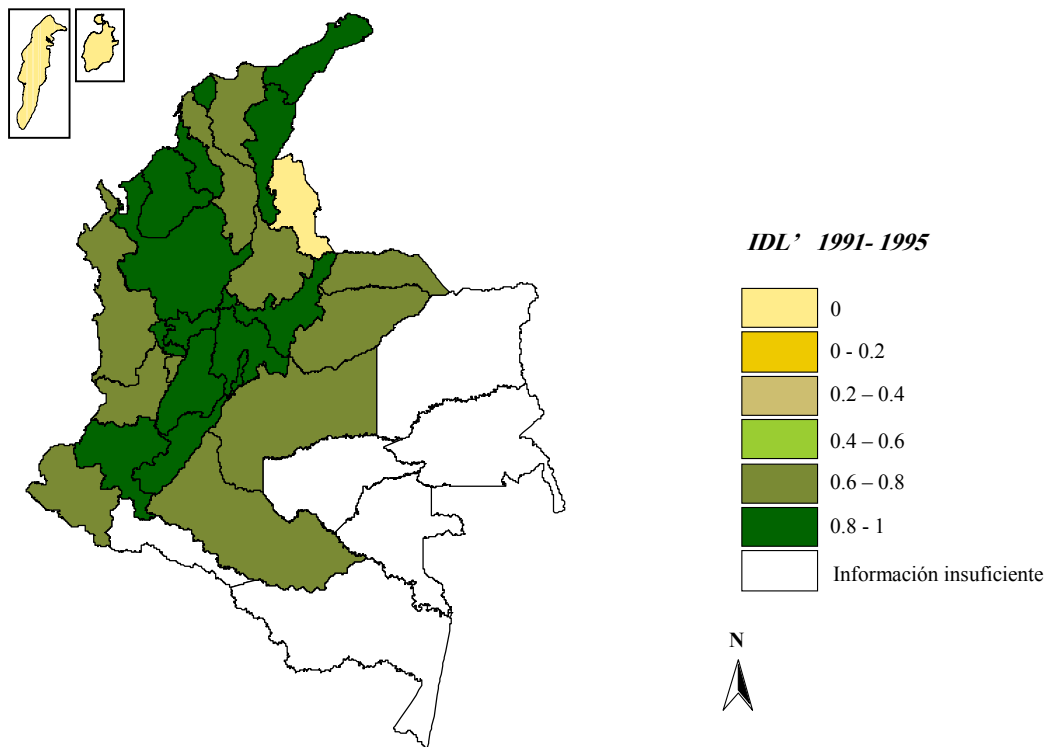
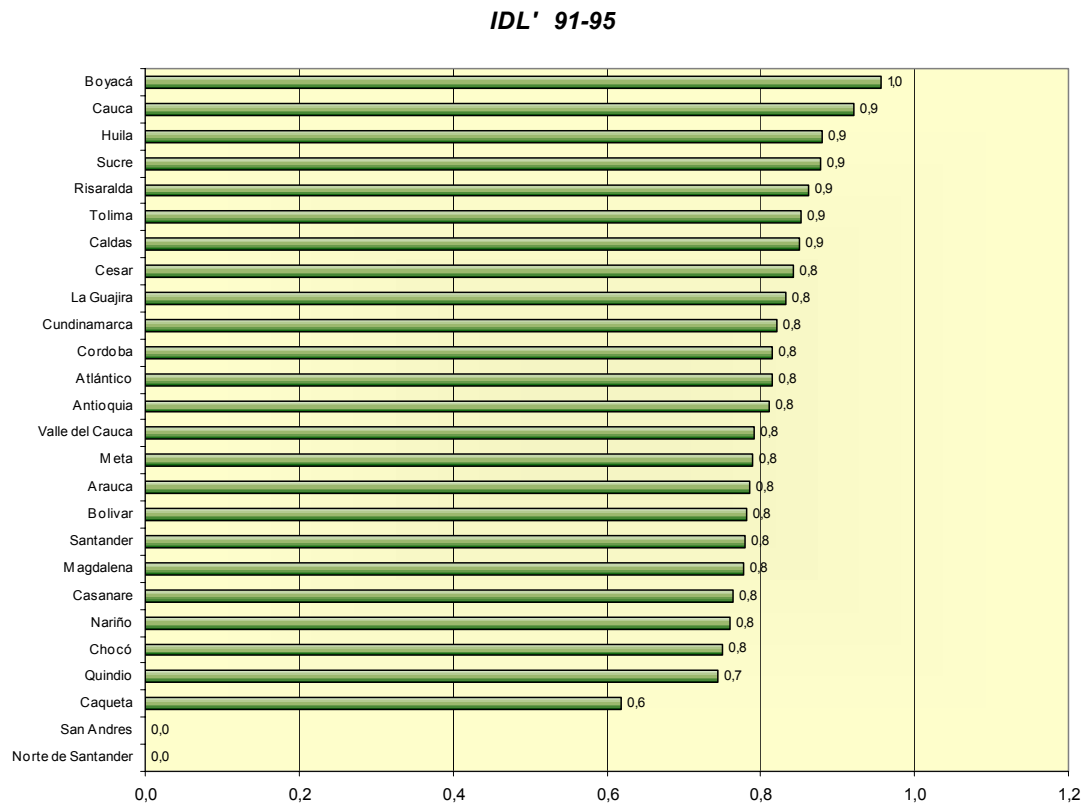
Figura 3.48. Valores de IDL para el período 1996 - 2000



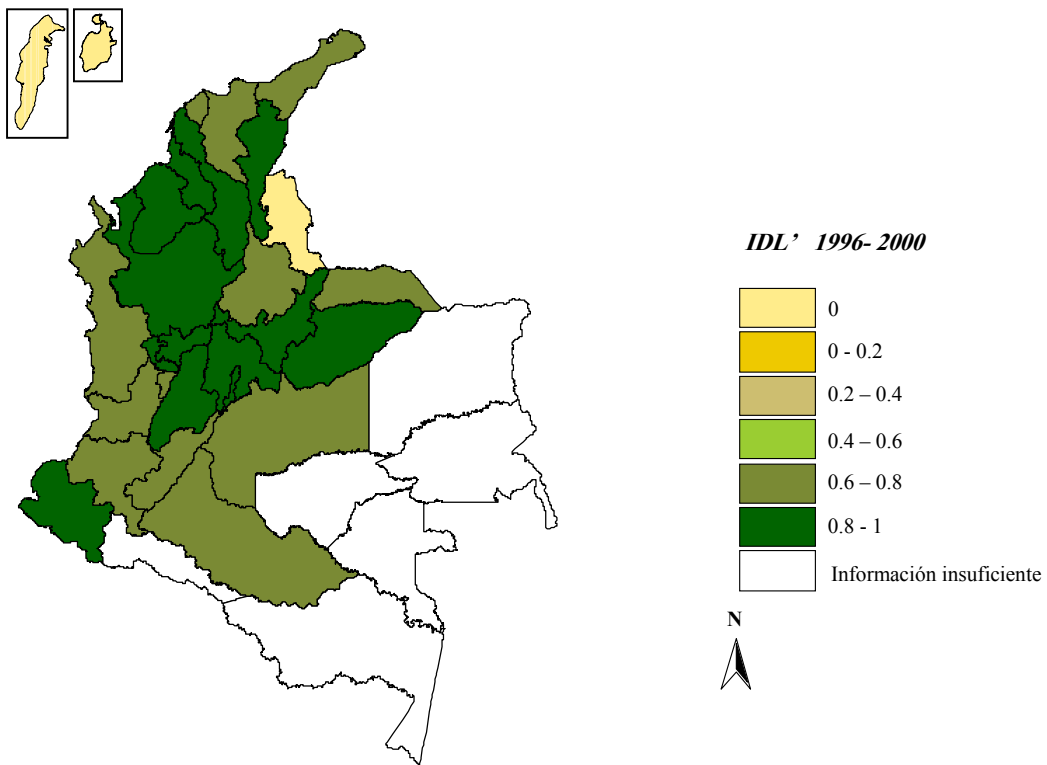
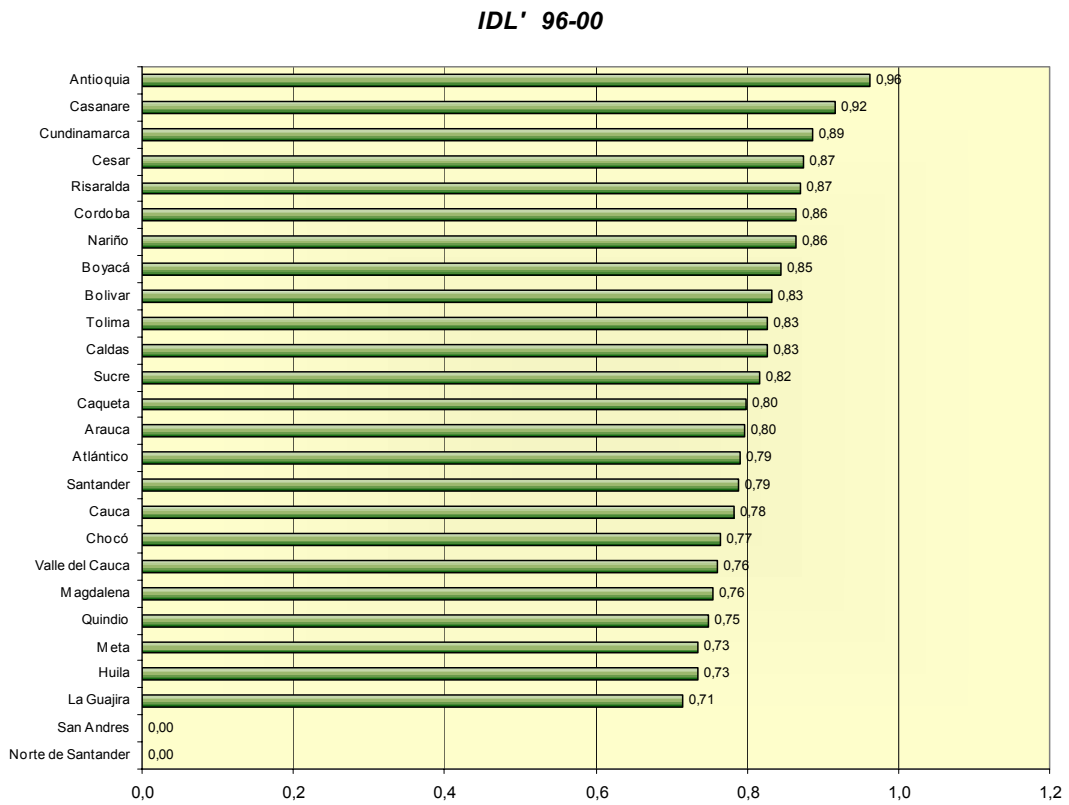
**Figura 3.49. Valores de IDL' para el período 1981 - 1985**



**Figura 3.50. Valores de IDL' para el período 1986 - 1990**



**Figura 3.51. Valores de IDL' para el período 1991 - 1995**



**Figura 3.52. Valores de IDL' para el período 1996 - 2000**

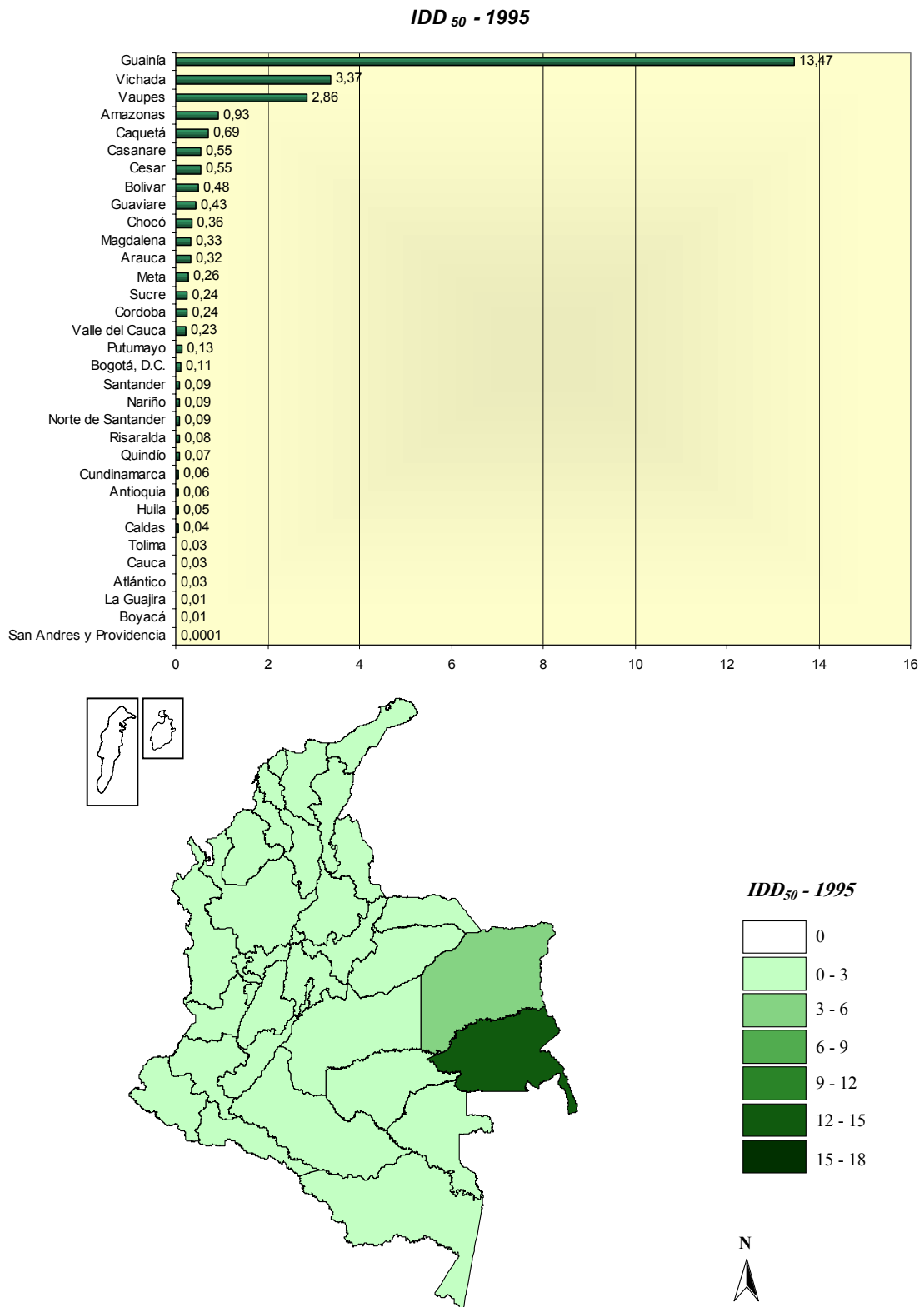


### 3.5.3.3. *Índice de déficit por desastre, IDD*

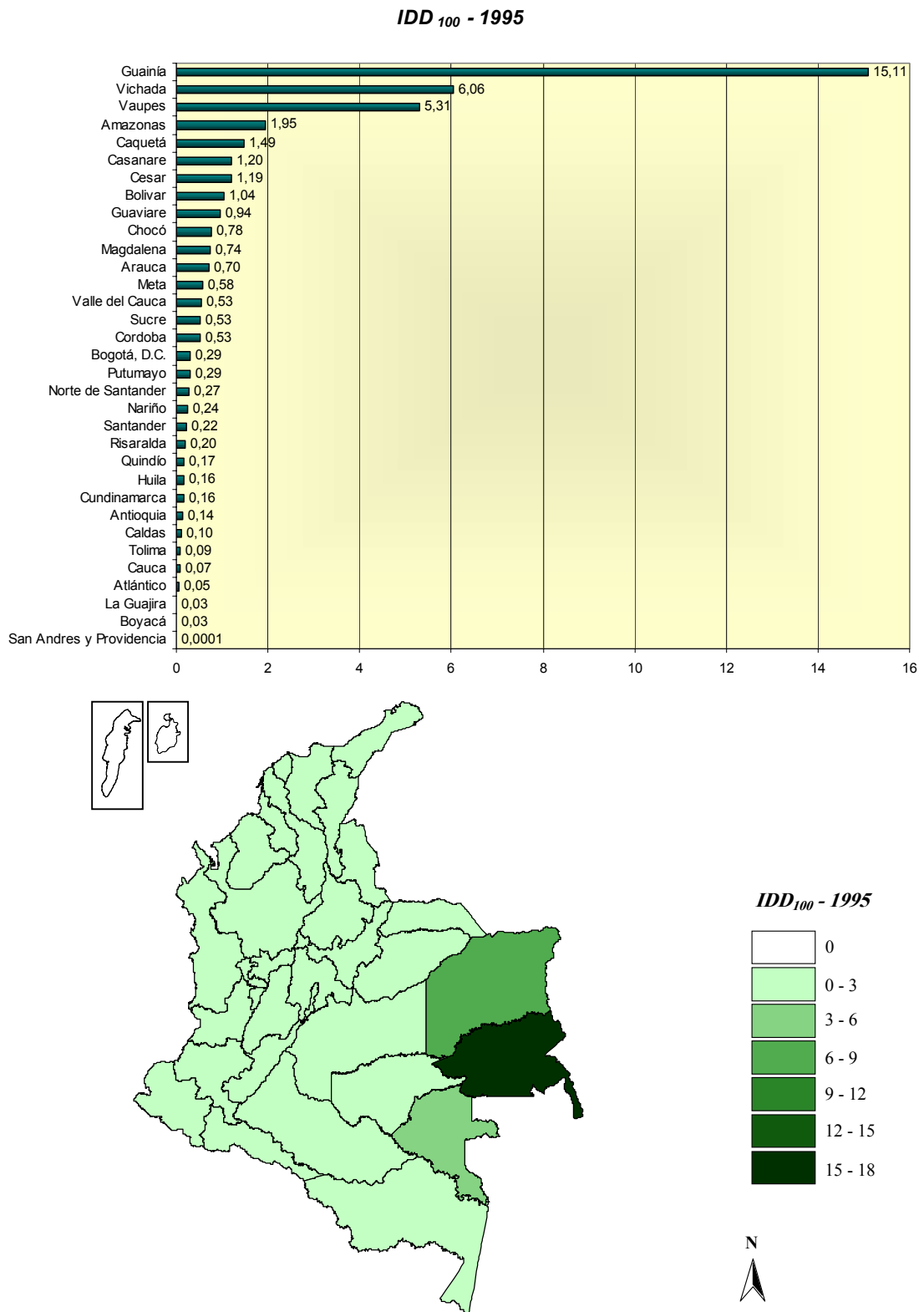
Para la evaluación del *IDD* a nivel subnacional en Colombia se tuvieron en cuenta dos amenazas que son consideradas dominantes en el país y de las cuales se cuenta con mayor información: los sismos y las inundaciones. En algunas regiones del país, como la Costa Atlántica, la amenaza que domina es la posibilidad de sufrir una inundación, mientras que en la región andina domina la amenaza de un movimiento sísmico. Así, para cada departamento, se determinó para los años 1995 y 2000, cual de estas dos era la más grave y se consideraron las pérdidas probables en cada caso para eventos con tres períodos de retorno (50, 100 y 500 años). Dentro de la resiliencia económica se tuvieron en cuenta dinero con que se contaría por seguros y reaseguros, fondos para desastres, ayudas y donaciones, la posibilidad de reasignación de inversión, el dinero posiblemente recaudado por la creación de nuevos impuestos, crédito externo y crédito interno. Las figuras 3.53 a 3.58 muestran los resultados.

Del estudio del índice de déficit por desastre *IDD* se puede concluir que en Colombia algunos departamentos tienen graves problemas. El caso más grave es el del departamento de Guainía para el cual se presentan los valores más altos de *IDD*, aún para eventos de un período de retorno ( $T_R$ ) de 50 años. Esto se debe a que, aunque no presenta las mayores pérdidas, su resiliencia económica es mínima, aunque se ve un aumento en ésta entre 1995 y 2000. Problemas parecidos existen en los departamentos de Vichada, y Vaupés, que tienen valores de *IDD* superiores a 1 en 1995, lo que indica la incapacidad de estos para enfrentar las consecuencias de eventos catastróficos inclusive los que tienen un  $T_R$  de 50 años. La situación empeora también para otros departamentos en el año 2000, para eventos con  $T_R$  de 50 años, como Amazonas, Caquetá, Arauca y Cesar. Para departamentos como Chocó, Magdalena y Huila, en el año 2000, un evento de  $T_R$  de 50 años, aunque no conduce a un *IDD* mayor que 1.0, ya representa un impacto muy fuerte.

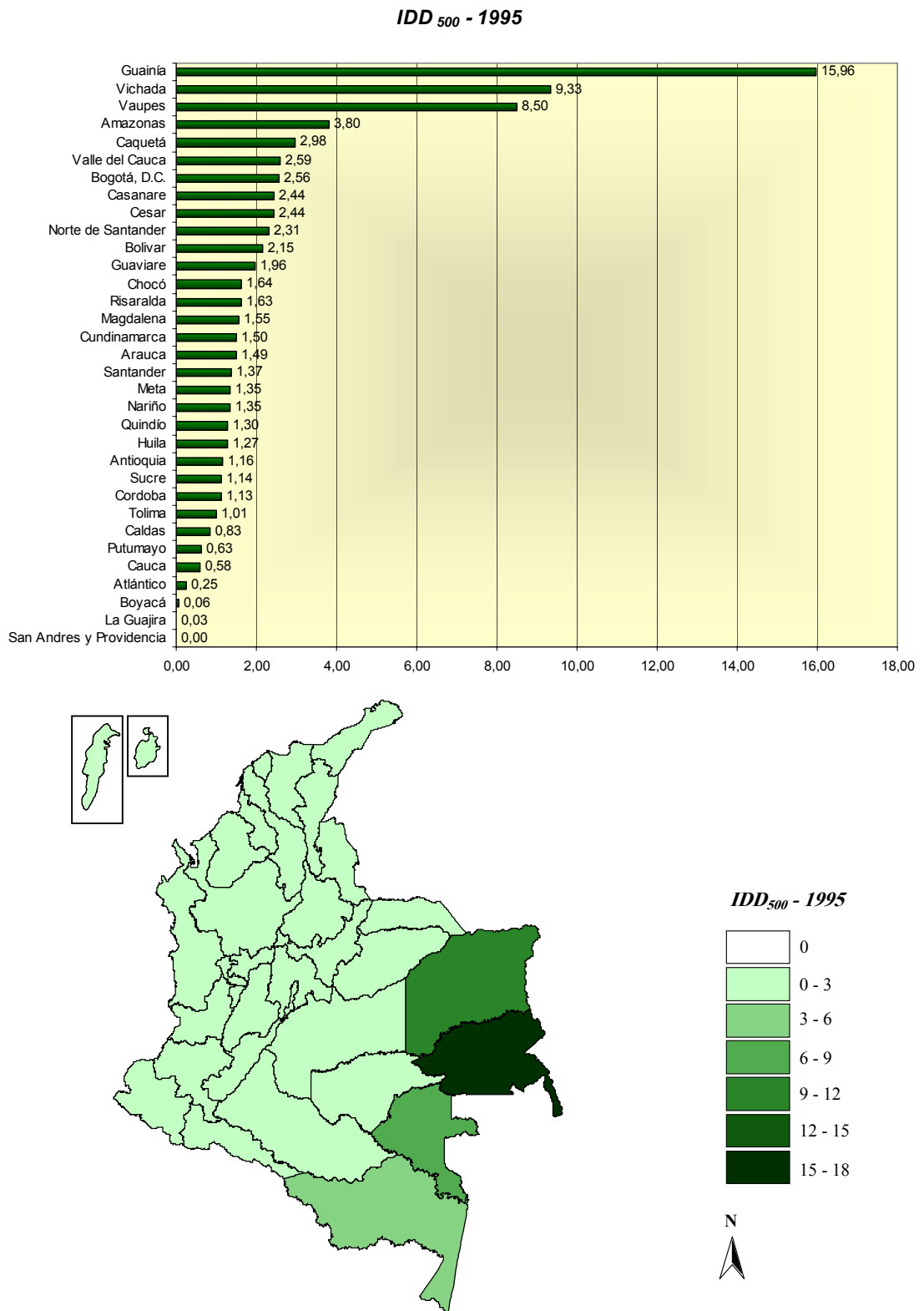
Para los eventos correspondientes a un  $T_R$  de 100 años, en 1995 ya se tiene un déficit importante en los departamentos de Guainía, Vichada (que ya presentan problemas para  $T_R$  de 50 años), Amazonas, Caquetá, Casanare, Cesar y Bolívar y, aunque no se llega a tener un déficit, hay un fuerte impacto en Guaviare, Chocó, Magdalena y Arauca. En el año 2000 la situación también es insostenible para los departamentos de Chocó, Huila, Magdalena y Sucre y se espera duro impacto en Bolívar, Meta, Córdoba y Valle del Cauca. Finalmente se consideraron eventos con  $T_R$  de 500 años, para los que es claro que existe un grave déficit en la mayoría de departamentos del país. Aunque no se espera un déficit, si se ocasiona un duro golpe en los departamentos de Caldas, Putumayo, Cauca y Atlántico en 1995 y, para las condiciones del año 2000, en Putumayo, Cauca, Guaviare, Tolima y Atlántico.



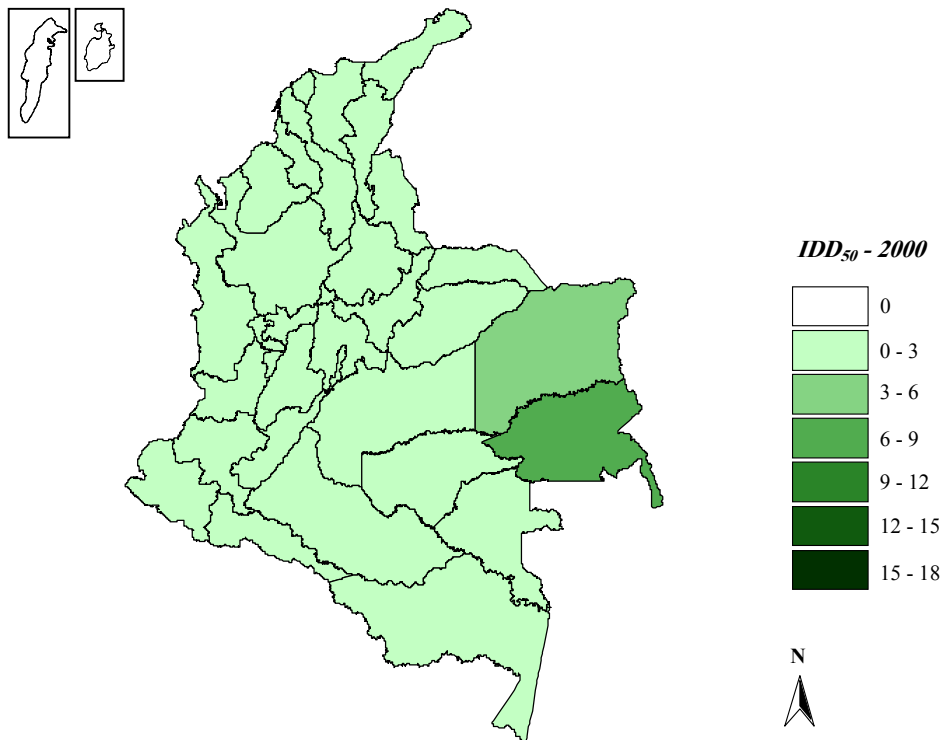
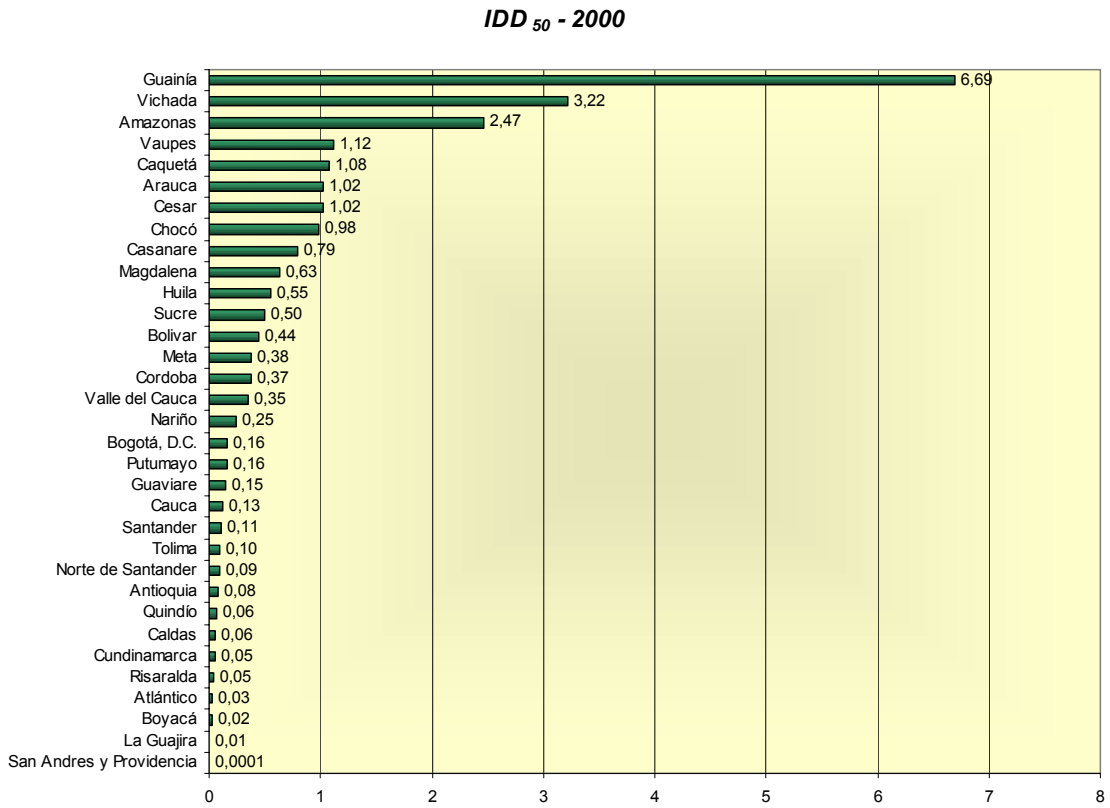
**Figura 3.53. Valores de IDD para  $T_R=50$  años en 1995**



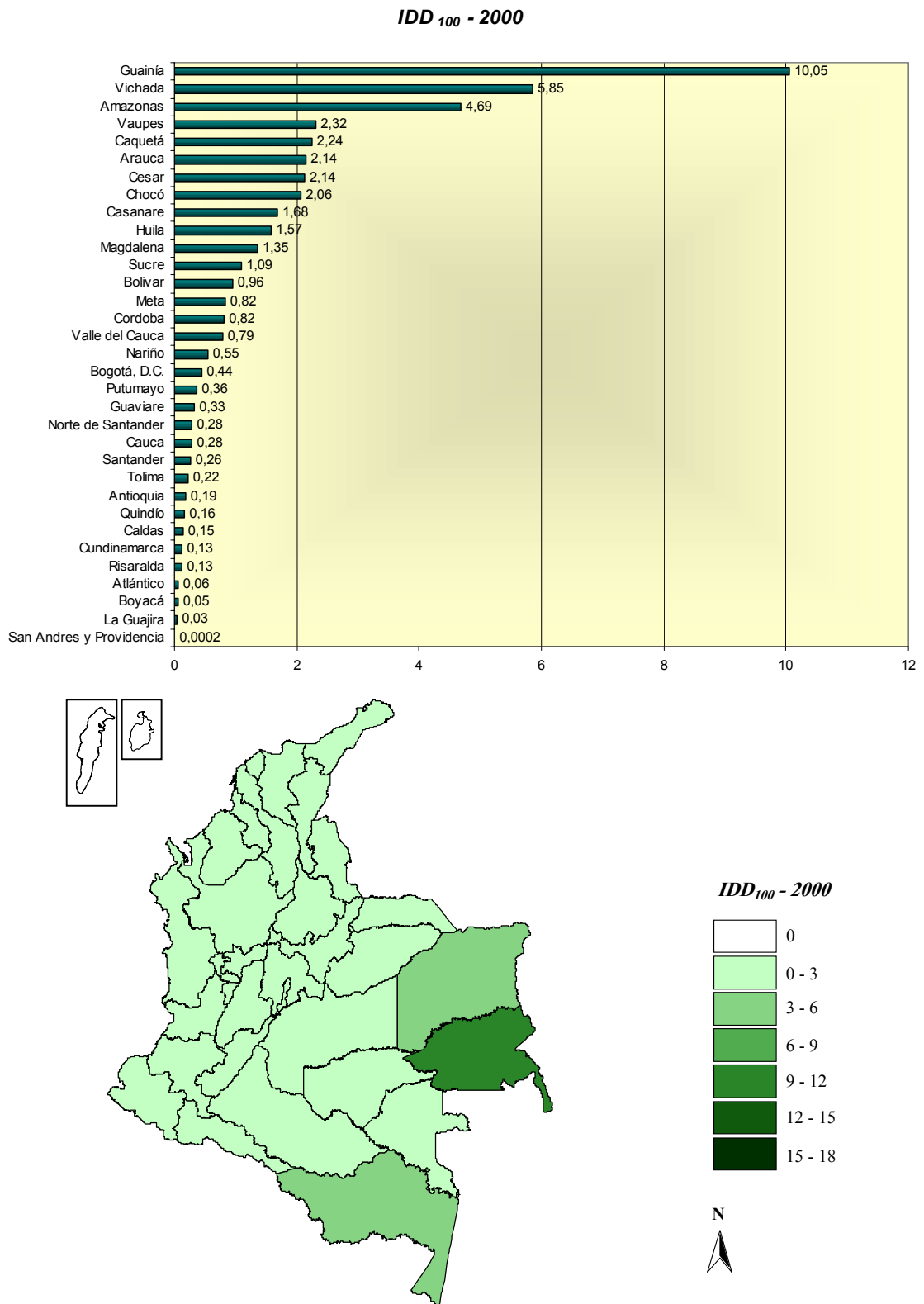
**Figura 3.54. Valores de IDD para  $T_R=100$  años en 1995**



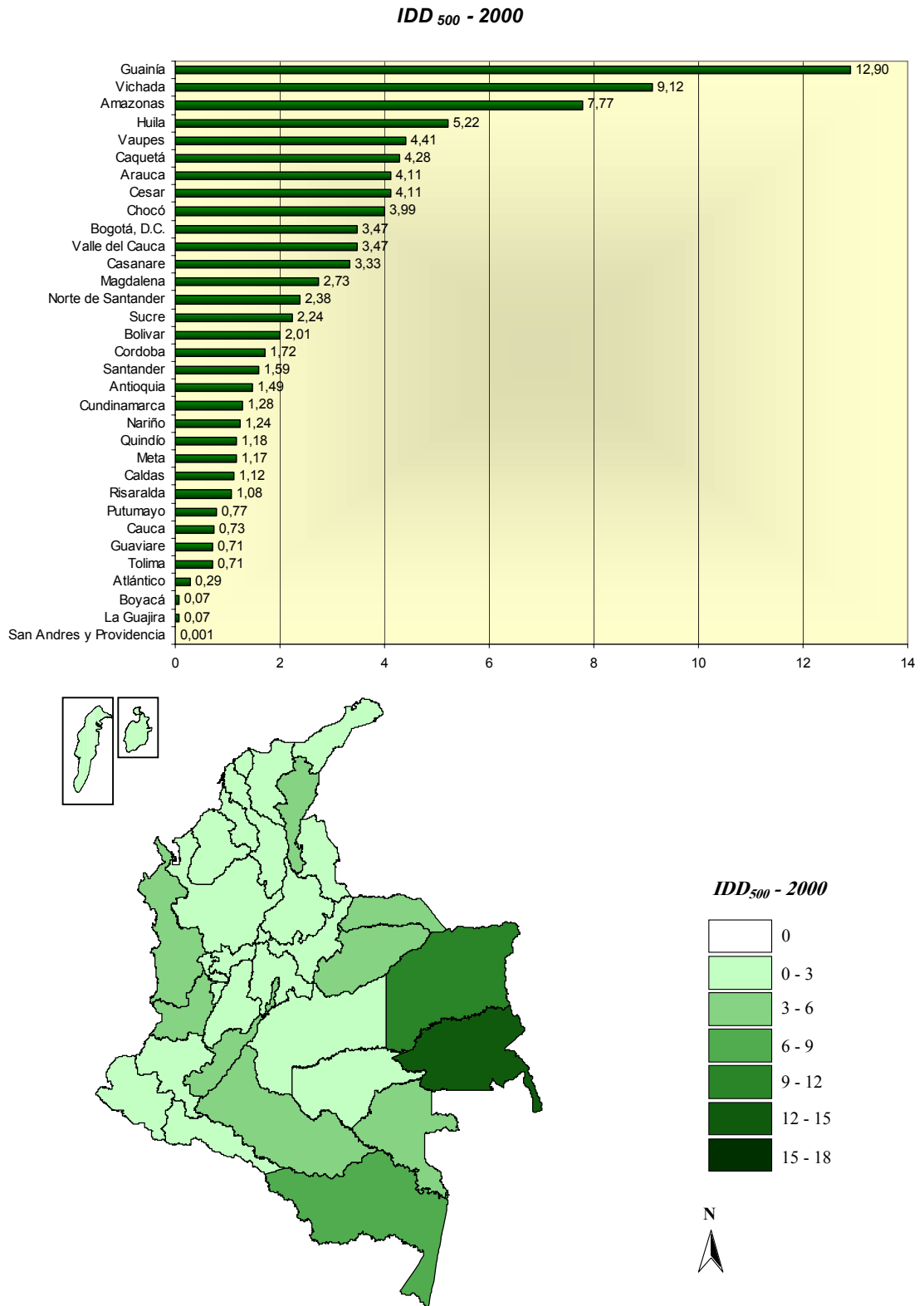
**Figura 3.55. Valores de IDD para  $T_R=500$  años en 1995**



**Figura 3.56. Valores de IDD para  $T_R = 50$  años en 2000**



**Figura 3.57. Valores de IDD para  $T_R=100$  años en 2000**



**Figura 3.58. Valores de IDD para  $T_R=500$  años en 2000**

Los departamentos que presentan menor *IDD* para todos los  $T_R$  en 1995 y 2000 son Boyacá, San Andrés y Guajira. Esto es debido a la baja exposición en estas regiones, combinada con algo de resiliencia económica, aunque no es la máxima del país. Del mismo estudio, para la ciudad de Bogotá se encontró que el valor del *IDD* sólo indica un déficit para eventos de un  $T_R$  de 500 años, pero su valor aumenta del año 1995 al año 2000, debido a un incremento de las pérdidas y a la reducción de la resiliencia económica, específicamente en la reasignación de la inversión. Con este estudio se puede aclarar en que zonas del país debería reforzar el gobierno central las ayudas económicas para la gestión de desastres, medidas de mitigación y gestión del riesgo en caso de un evento catastrófico. Las regiones más desprotegidas estarían en la Orinoquia, Amazonía y la costa Atlántica; el interior del país se encuentra mejor protegido.



# **ANEXO A – PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO Y PESOS PARA LA EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO**

## **A.1. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (PAJ)**

El Proceso Analítico Jerárquico (Analytical Hierarchy Process – AHP) es una técnica bastante usada para la toma de decisiones con atributos múltiples (Saaty 1980; 1987). Permite la descomposición de un problema en una jerarquía y asegura que tanto los aspectos cualitativos como cuantitativos de un problema sean incorporados en el proceso de evaluación, durante la cual la opinión es extraída sistemáticamente por medio de comparaciones entre pares (*pairwise*). El PAJ es una metodología de decisión compensatoria porque las alternativas que son eficientes con respecto a uno o más objetivos pueden compensarse mediante su desempeño con respecto a otros objetivos. El PAJ permite la aplicación de datos, experiencia, conocimiento, e intuición de una forma lógica y profunda dentro de una jerarquía como un todo.

El núcleo del PAJ es una comparación de atributos entre pares ordinales; subindicadores en este contexto, en los cuales enunciados de preferencia son identificados. Para un objetivo dado, las comparaciones son realizadas por pares de subindicadores, primero planteando la pregunta “¿Cuál de los dos es el más importante?” y segundo “¿Por cuánto?”. La fortaleza de la preferencia es expresada en una escala semántica de 1 a 9, lo que permite la medida dentro del mismo orden de magnitud. La preferencia de 1 indica igualdad entre dos subindicadores mientras que una preferencia de 9 indica que un subindicador es 9 veces más grande o más importante que aquel con el que es comparado. De esta forma las comparaciones están siendo realizadas entre pares de subindicadores donde la percepción es lo suficientemente significativa para

hacer una distinción. Estas comparaciones resultan en una matriz A de comparaciones (ver tabla A.1) donde  $A_{ii} = 1$  y  $A_{ij} = 1 / A_{ji}$ .

**Tabla A1. Matriz de comparaciones A de tres subindicadores (escala semántica)**

Objetivo	Indicador A	Indicador B	Indicador C
Indicador A	1	3	1
Indicador B	1 / 3	1	1 / 5
Indicador C	1	5	1

Para el ejemplo ilustrado en la tabla A.1, el indicador A es tres veces más importante que el indicador B, y consecuentemente el indicador B tiene un tercio de la importancia del indicador A. Cada juicio refleja, en la realidad, la percepción de la relación de las contribuciones relativas (pesos) de los dos indicadores al objetivo total que se valora como se muestra en la tabla A.2.

**Tabla A.2. Matriz de comparaciones A de tres subindicadores (pesos)**

Objetivo	Indicador A	Indicador B	Indicador C
Indicador A	$w_A/w_A$	$w_A/w_B$	$w_A/w_C$
Indicador B	$w_B/w_A$	$w_B/w_B$	$w_B/w_C$
Indicador C	$w_C/w_A$	$w_C/w_B$	$w_C/w_C$

Los pesos relativos de los subindicadores son calculados usando una técnica de vectores propios. Una de las ventajas de este método es que es capaz de verificar la consistencia de la matriz de comparación a través del cálculo de los valores propios.

El PAJ tolera la inconsistencia a través de la cantidad de redundancia. Para una matriz de tamaño  $n \times n$  sólo comparaciones  $n-1$  son requeridas para establecer pesos para los indicadores  $n$ . El número real de comparaciones realizadas en el PAJ es  $n(n-1)/2$ . Esta redundancia es una característica útil como lo es, en forma análoga, la estimación de un número como resultados de obtener el promedio de repetidas observaciones. Esto conduce resulta en un conjunto de pesos que son menos sensitivos a errores de juicio. Además, esta redundancia permite la medición de los errores de juicio al dar medios para calcular una relación de inconsistencia.

Esta técnica se ajusta bien al tipo de problemas complejos de toma de decisiones que involucran metas múltiples relacionadas con la planificación. La principal ventaja del PAJ es que se basa en la comparación de pares: la mente humana puede manejar fácilmente dos problemas distintos y examinar sus diferencias.

El PAJ facilita el análisis multicriterio basado en importancias relativas. Es una técnica útil para asignar los factores de participación o importancia de los componentes de un indicador de una manera más rigurosa que la directa

apreciación utilizando el “juicio” o “sentimiento” de los expertos (Hayman 1998).

Utilizando la Tabla A.3 propuesta por Saaty y Vargas (1991) para la asignación de importancias o preferencias, se puede asignar un puntaje de importancia relativa por parejas de indicadores, teniendo como referencia qué tanto, en forma comparativa, cada indicador refleja el aspecto que se desea representar.

**Tabla A.3. Escala de asignación de importancia comparativa entre parejas.**

Juicio de Importancia	Puntaje
Extremadamente más importante	9
	8
Muy fuertemente más importante	7
	6
Fuertemente más importante	5
	4
Moderadamente más importante	3
	2
Igualmente importante	1

La asignación de los puntajes de importancia relativa se realiza comparando la importancia del primer indicador con respecto a los demás. Por ejemplo, el área destruida de edificios es moderadamente más importante (puntaje 5) que el número de centrales telefónicas afectadas, cuando se tiene como referente el riesgo sísmico físico. Con base en estos puntajes iniciales se formula la matriz para el análisis de consistencia. Esta matriz se ajusta y evalúa hasta que se considere que la consistencia es adecuada.

De acuerdo con la técnica PAJ la relación de consistencia  $CR$  (Ecuación A.1) es el cociente entre el índice de consistencia  $CI$  de una matriz de comparaciones dada y el valor del mismo índice para una matriz de comparaciones generada aleatoriamente:

$$CR = \frac{CI}{CI_{random}} \leq 0.1 \quad [A.1]$$

donde el índice de consistencia  $CI$  está definido como

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad [A.2]$$

el término  $\lambda_{max}$  en la ecuación A.2 es el mayor valor propio positivo de la matriz de comparaciones por parejas.

Hayman indica que la confiabilidad es suficiente si  $CR$  es menor o igual a 0.10. En caso contrario se deben revisar los elementos de la matriz de comparaciones con el ánimo de mejorar su consistencia. Una vez obtenida una consistencia aceptable se procede a calcular el vector propio principal y normalizarlo, así se determinan los valores ajustados de los factores de participación. Los valores finales de los factores de participación se obtuvieron de apreciaciones de expertos.

## A.2. PESOS PARA LA EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO SÍSMICO

A continuación se presentan las matrices de importancias relativas asignadas con su respectiva relación e índice de consistencia y los pesos obtenidos a partir de su vector propio principal para los factores de riesgo físico y agravamiento.

### *Factores de riesgo físico*

$F_{RF1}$	Área destruida
$F_{RF2}$	Fallecidos
$F_{RF3}$	Heridos
$F_{RF4}$	Roturas red de acueducto
$F_{RF5}$	Roturas de la red de gas
$F_{RF6}$	Long. de redes eléctricas caídas
$F_{RF7}$	Centrales telefónicas afectadas
$F_{RF8}$	Subestaciones eléctricas afectadas

### Matriz de importancias relativas para el riesgo físico

	$F_{RF1}$	$F_{RF2}$	$F_{RF3}$	$F_{RF4}$	$F_{RF5}$	$F_{RF6}$	$F_{RF7}$	$F_{RF8}$
$F_{RF1}$	1	4	4	2	3	3	5	5
$F_{RF2}$	0,25	1	1	0,5	1	1	3	3
$F_{RF3}$	0,25	1	1	0,5	1	1	3	3
$F_{RF4}$	0,50	2	2	1	2	2	4	4
$F_{RF5}$	0,33	1	1	0,5	1	1	3	3
$F_{RF6}$	0,33	1	1	0,5	1	1	3	3
$F_{RF7}$	0,20	0,33	0,33	0,25	0,33	0,33	1	1
$F_{RF8}$	0,20	0,33	0,33	0,25	0,33	0,33	1	1

Valor propio = 8,11

$CI = 0,0152$

$CR = 0,0108$

## Pesos utilizados para el riesgo físico

	Vector propio principal	Vector propio principal normalizado	Pesos
$F_{RF1}$	0,7410	0,31	<b>31</b>
$F_{RF2}$	0,2420	0,10	<b>10</b>
$F_{RF3}$	0,2420	0,10	<b>10</b>
$F_{RF4}$	0,4368	0,19	<b>19</b>
$F_{RF5}$	0,2496	0,11	<b>11</b>
$F_{RF6}$	0,2496	0,11	<b>11</b>
$F_{RF7}$	0,0958	0,04	<b>4</b>
$F_{RF8}$	0,0958	0,04	<b>4</b>

## Agravamiento por fragilidad social y falta de resiliencia

$F_{FS1}$	Área barrios marginales
$F_{FS2}$	Tasa de mortalidad
$F_{FS3}$	Tasa de delincuencia
$F_{FS4}$	Índice de disparidad social
$F_{FS5}$	Densidad de población
$F_{FR1}$	Camas hospitalarias
$F_{FR2}$	Recurso humano en salud
$F_{FR3}$	Espacio público
$F_{FR4}$	Personal de rescate
$F_{FR5}$	Nivel de desarrollo
$F_{FR6}$	Operatividad en emergencias

## Matriz de importancias relativas para el coeficiente de agravamiento

	$F_{FS1}$	$F_{FS2}$	$F_{FS3}$	$F_{FS4}$	$F_{FS5}$	$F_{FR1}$	$F_{FR2}$	$F_{FR3}$	$F_{FR4}$	$F_{FR5}$	$F_{FR6}$
$F_{FS1}$	<b>1</b>	4	4	1	1	3	3	4	4	3	3
$F_{FS2}$	0,25	<b>1</b>	1	0,25	0,25	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5
$F_{FS3}$	0,25	1	<b>1</b>	0,25	0,25	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5
$F_{FS4}$	1	4	4	<b>1</b>	1	3	3	4	4	3	3
$F_{FS5}$	1	4	4	1	<b>1</b>	3	3	4	4	3	3
$F_{FR1}$	0,33	2	2	0,33	0,33	<b>1</b>	1	2	2	0,5	0,5
$F_{FR2}$	0,33	2	2	0,33	0,33	1	<b>1</b>	2	2	0,5	0,5
$F_{FR3}$	0,25	1	1	0,25	0,25	0,5	0,5	<b>1</b>	2	0,33	0,33
$F_{FR4}$	0,25	1	1	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	<b>1</b>	0,33	0,33
$F_{FR5}$	0,33	2	2	0,33	0,33	2	2	3	3	<b>1</b>	1
$F_{FR6}$	0,33	2	2	0,33	0,33	2	2	3	3	1	<b>1</b>

Valor propio principal = 11,24  
 $CI = 0,024$   
 $CR = 0,016$

**Pesos utilizados para el coeficiente de agravamiento**

	<b>Vector propio principal</b>	<b>Vector propio principal normalizado</b>	<b>Pesos</b>
$F_{FS1}$	1,0000	0,183	18
$F_{FS2}$	0,2136	0,039	4
$F_{FS3}$	0,2136	0,039	4
$F_{FS4}$	1	0,183	18
$F_{FS5}$	1	0,183	18
$F_{FR1}$	0,33928	0,062	6
$F_{FR2}$	0,33928	0,062	6
$F_{FR3}$	0,21601	0,040	4
$F_{FR4}$	0,1895	0,035	3
$F_{FR5}$	0,47833	0,087	9
$F_{FR6}$	0,47833	0,087	9

## ANEXO B – VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS A NIVEL SUB-NACIONAL

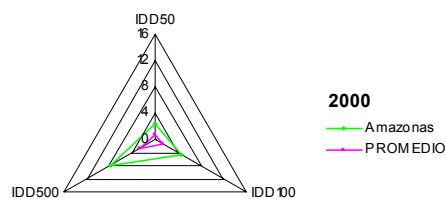
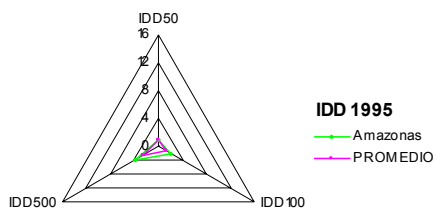
En este anexo se presentan los resultados obtenidos para los 32 departamentos de Colombia. Para el *IVP* no se obtuvieron resultados para los departamentos de Amazonas, Arauca, Casanare, Guainía, Guaviare, Putumayo, San Andrés, Vaupés y Vichada, por falta de información. Por la misma razón, en el cálculo del *IDL* no se tuvieron en cuenta los departamentos de Vichada, Guainía, Guaviare, Vaupés, Amazonas y Putumayo.

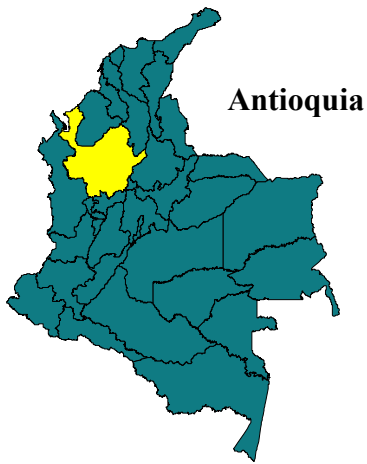


Área: 110043 Km<sup>2</sup>

Población: 70.489 habitantes

Municipios: 11



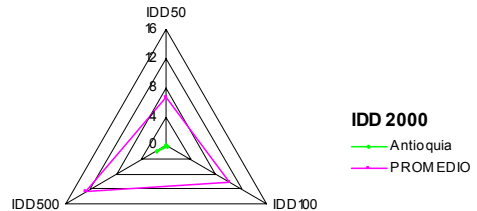
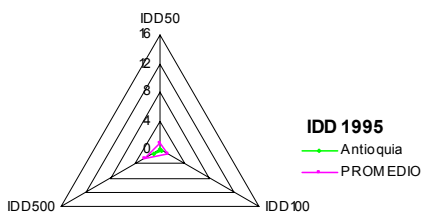
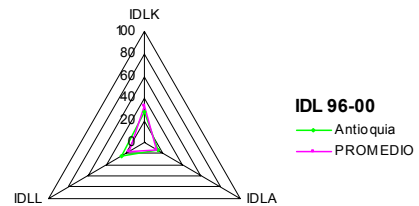
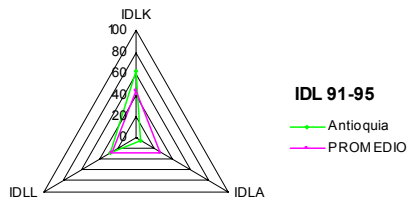
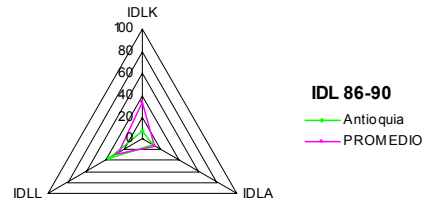
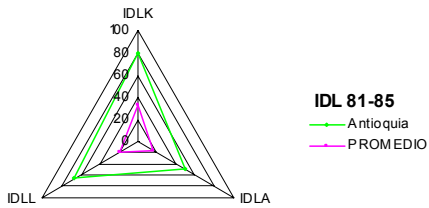
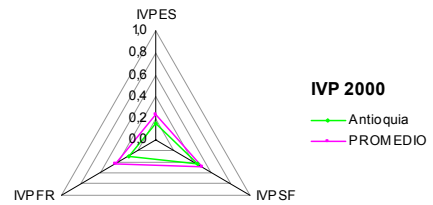
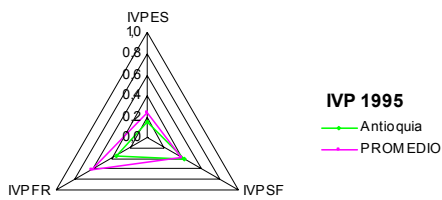


**Antioquia**

Área: 63072 Km<sup>2</sup>

Población: 5.377.854 habitantes

Municipios: 125





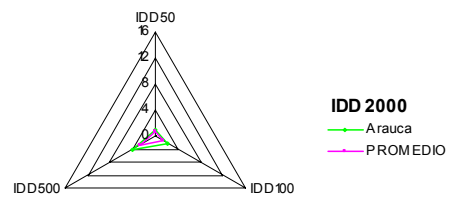
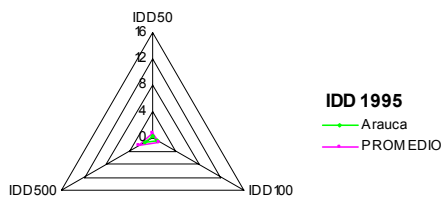
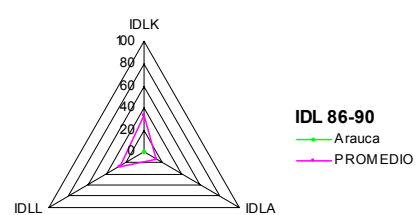
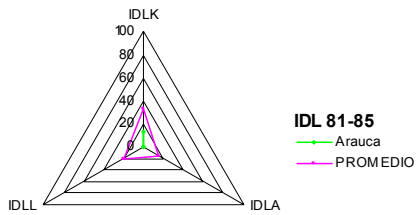
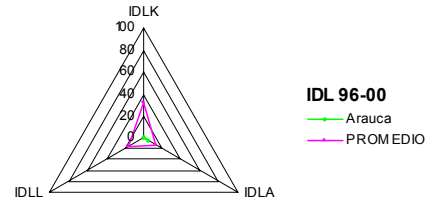
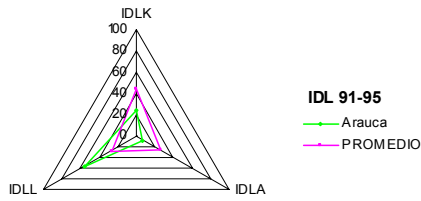


**Arauca**

Área: 23805 Km<sup>2</sup>

Población: 240.190 habitantes

Municipios: 7



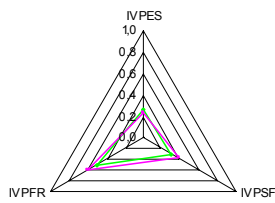


**Atlántico**

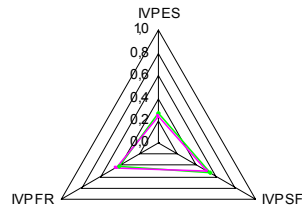
Área: 3326 Km<sup>2</sup>

Población: 2.127.567 habitantes

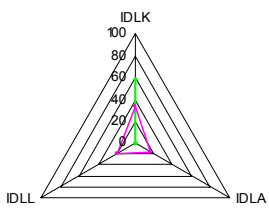
Municipios: 23



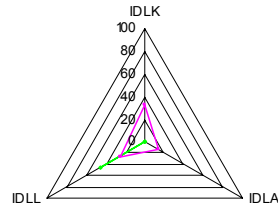
**IVP 1995**  
 — Atlántico  
 — PROMEDIO



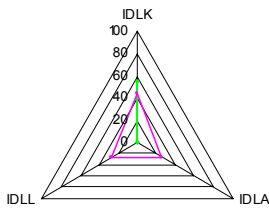
**IVP 2000**  
 — Atlántico  
 — PROMEDIO



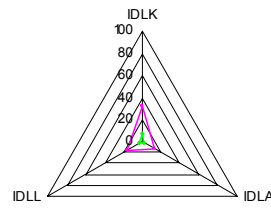
**IDL 81-85**  
 — Atlántico  
 — PROMEDIO



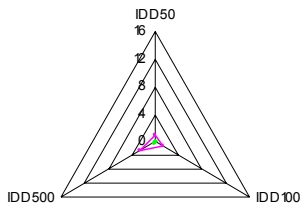
**IDL 86-90**  
 — Atlántico  
 — PROMEDIO



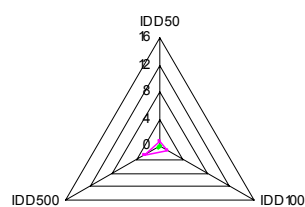
**IDL 91-95**  
 — Atlántico  
 — PROMEDIO



**IDL 96-00**  
 — Atlántico  
 — PROMEDIO



**IDD 1995**  
 — Atlántico  
 — PROMEDIO



**IDD 2000**  
 — Atlántico  
 — PROMEDIO

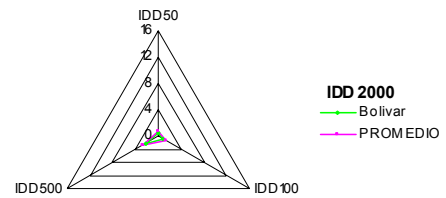
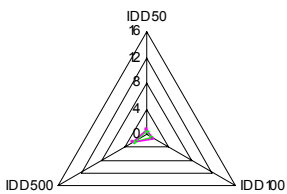
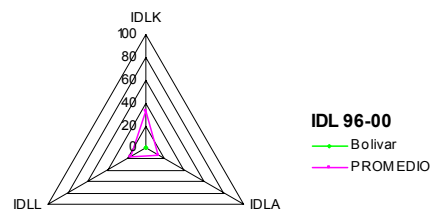
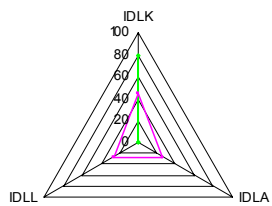
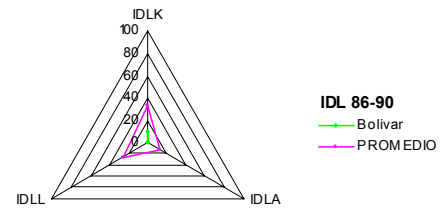
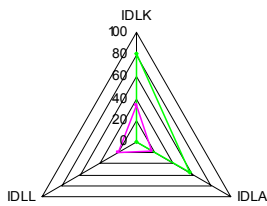
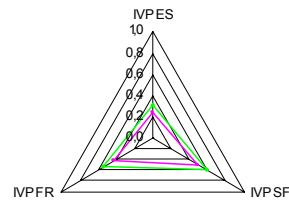
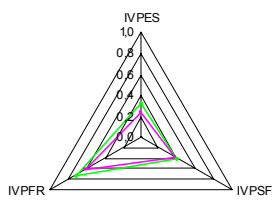


**Bolívar**

Área: 26651 Km<sup>2</sup>

Población: 1.996.906 habitantes

Municipios: 47

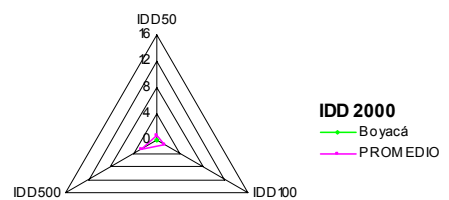
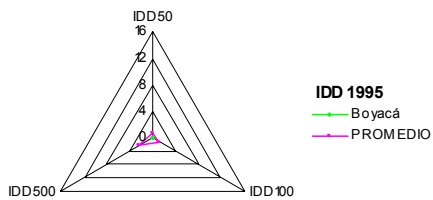
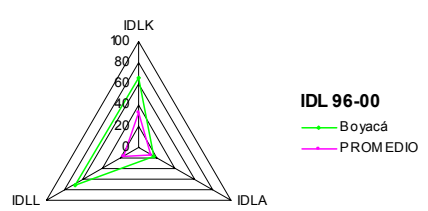
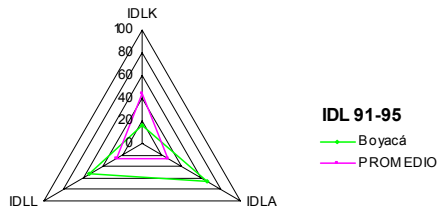
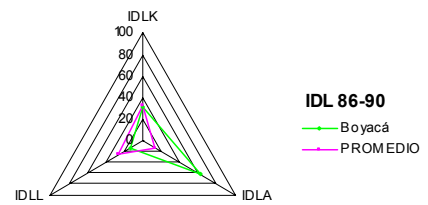
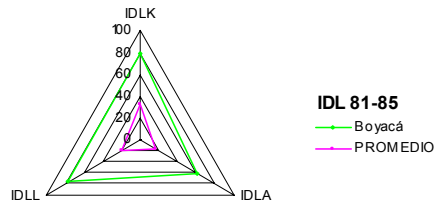
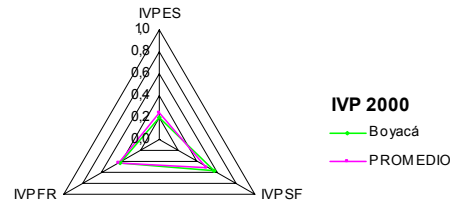
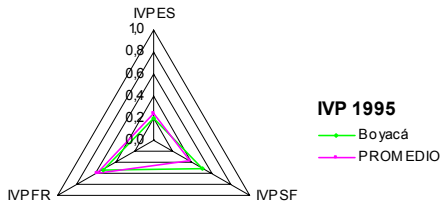




Área: 23075 Km<sup>2</sup>

Población: 1.365.110 habitantes

Municipios: 123



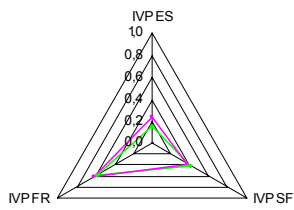


**Caldas**

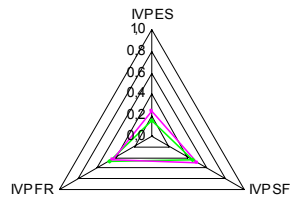
Área: 7415 Km<sup>2</sup>

Población: 1.107.627 habitantes

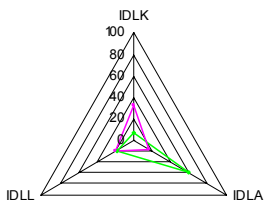
Municipios: 27



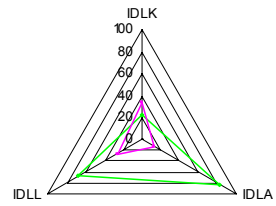
**IVP 1995**  
 — Caldas  
 — PROMEDIO



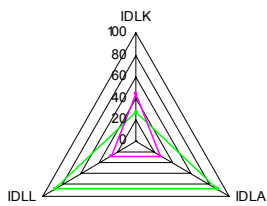
**IVP 2000**  
 — Caldas  
 — PROMEDIO



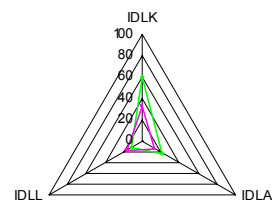
**IDL 81-85**  
 — Caldas  
 — PROMEDIO



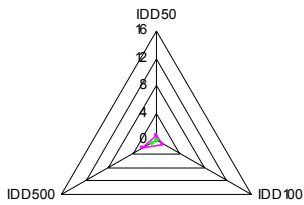
**IDL 86-90**  
 — Caldas  
 — PROMEDIO



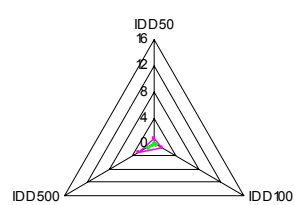
**IDL 91-95**  
 — Caldas  
 — PROMEDIO



**IDL 96-00**  
 — Caldas  
 — PROMEDIO



**IDD 1995**  
 — Caldas  
 — PROMEDIO



**IDD 2000**  
 — Caldas  
 — PROMEDIO

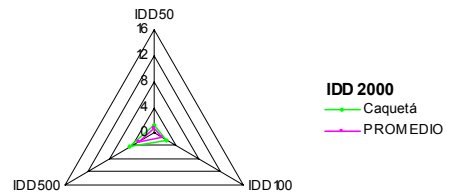
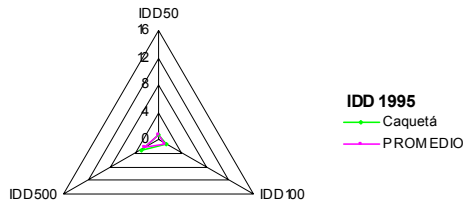
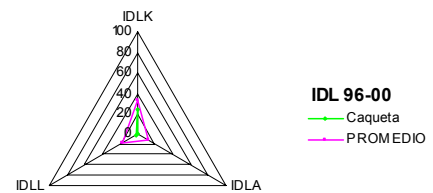
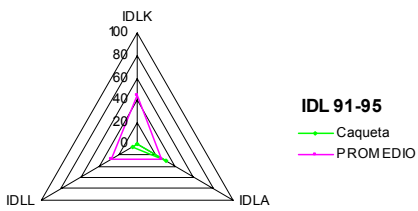
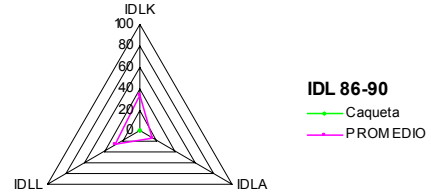
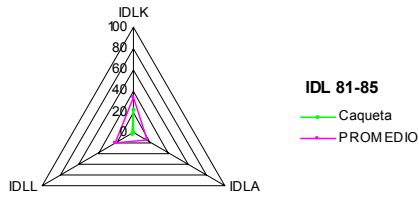
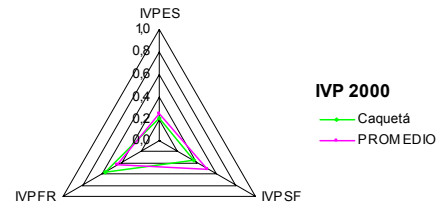
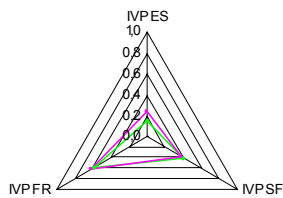


**Caquetá**

Área: 90073 Km<sup>2</sup>

Población: 418.998 habitantes

Municipios: 16

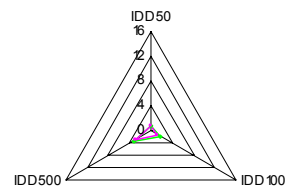
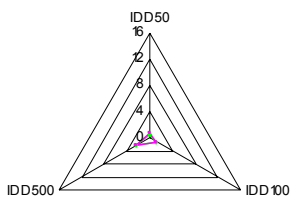
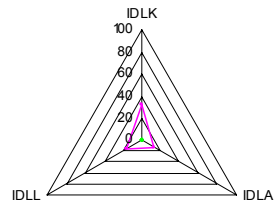
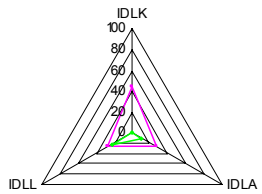
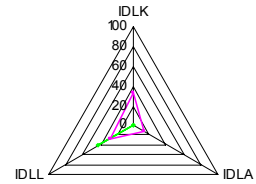
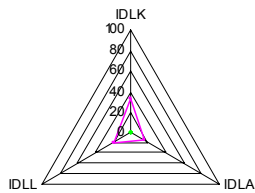




Área: 44481 Km<sup>2</sup>

Población: 285.416 habitantes

Municipios: 19



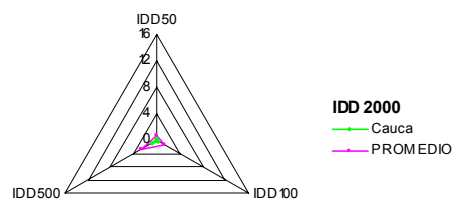
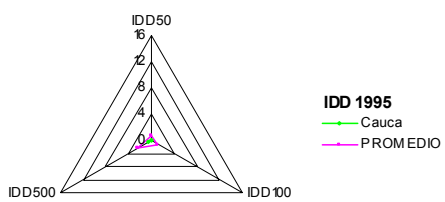
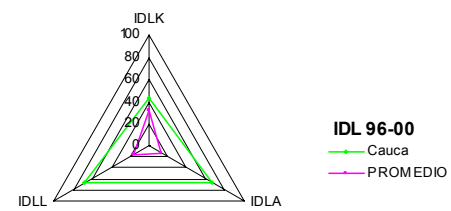
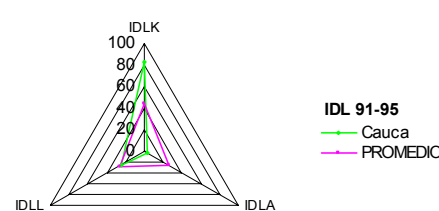
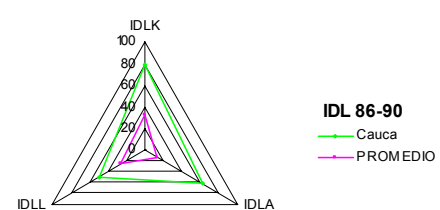
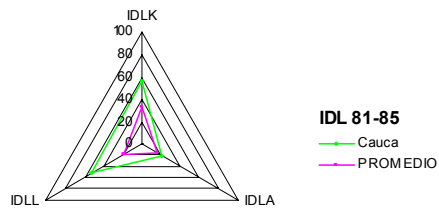
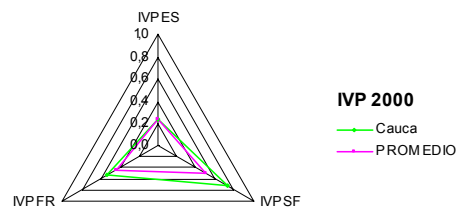
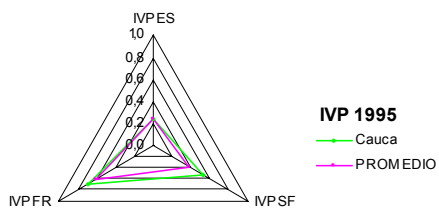


**Cauca**

Área: 30644 Km<sup>2</sup>

Población: 1.255.333 habitantes

Municipios: 41





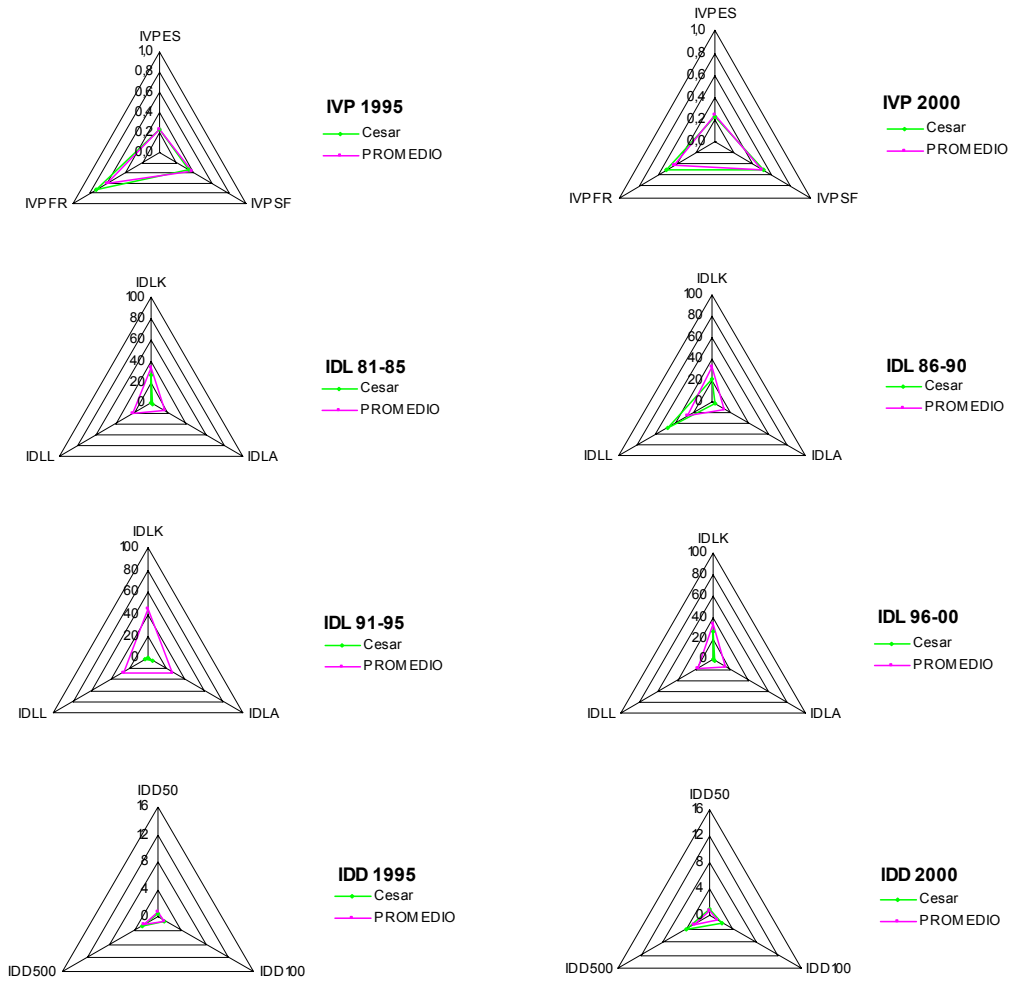


**Cesar**

Área: 22374 Km<sup>2</sup>

Población: 961.535 habitantes

Municipios: 25



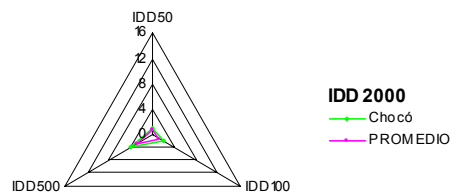
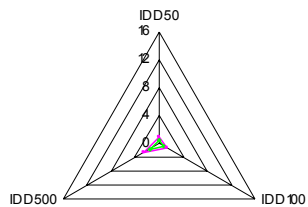
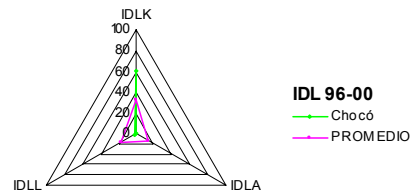
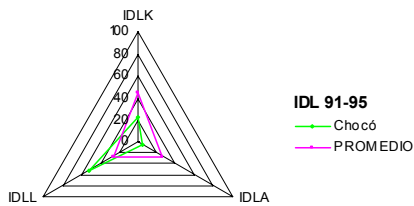
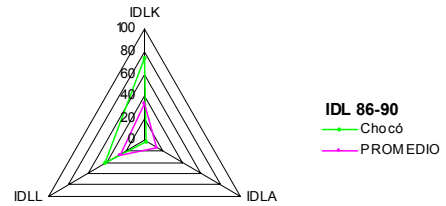
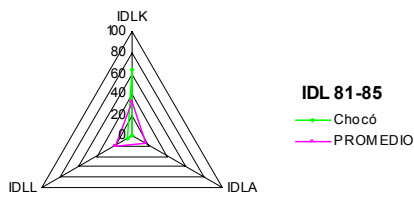
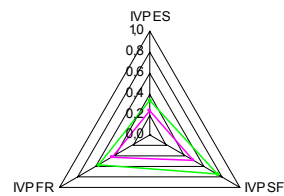
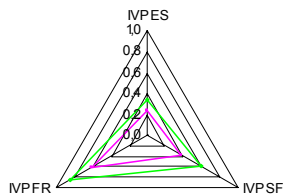


**Chocó**

Área: 47960 Km<sup>2</sup>

Población: 407.255 habitantes

Municipios: 31



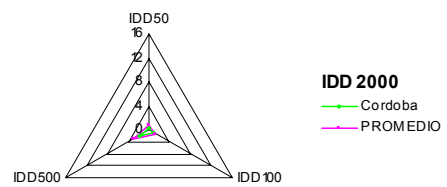
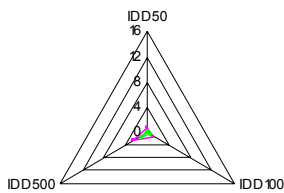
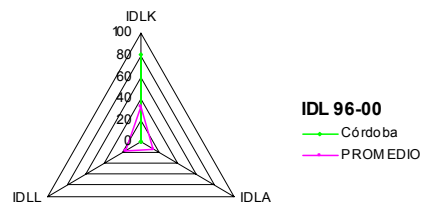
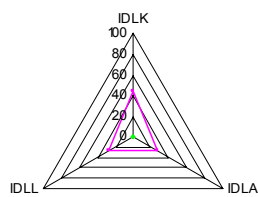
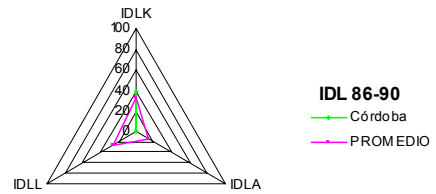
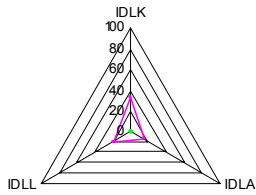
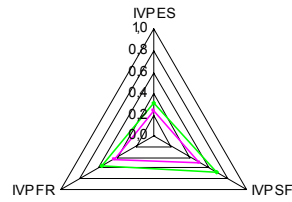
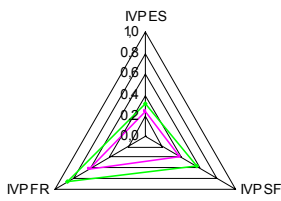


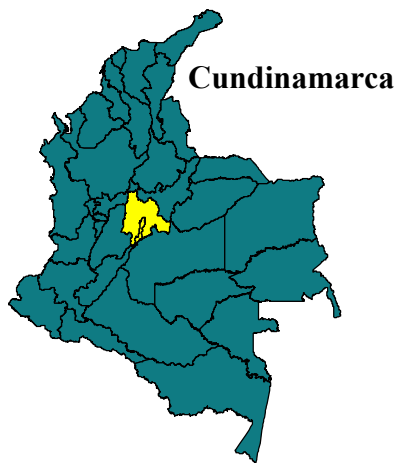
**Córdoba**

Área: 25046 Km<sup>2</sup>

Población: 1.322.852 habitantes

Municipios: 28

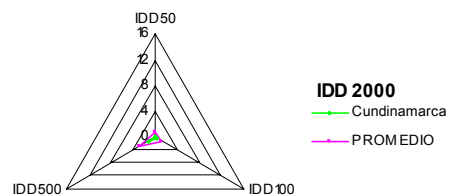
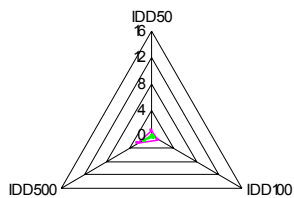
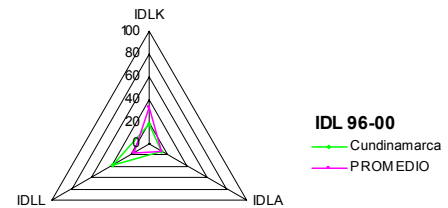
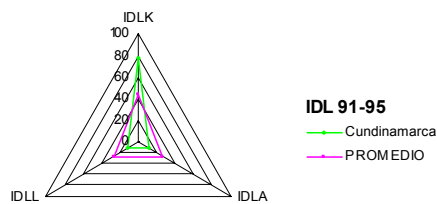
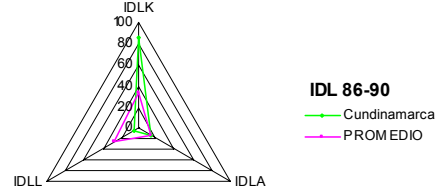
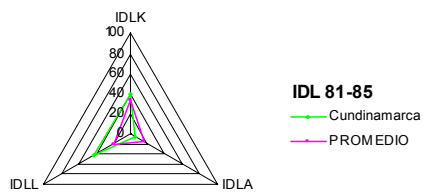
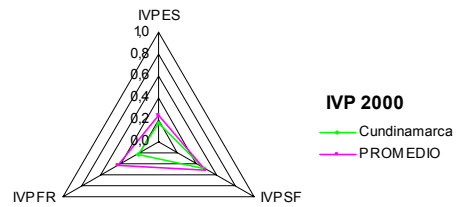
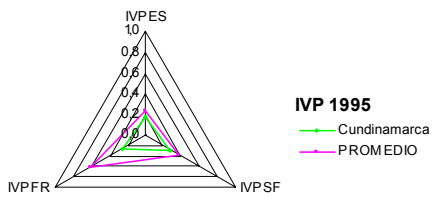




Área: 22365 Km<sup>2</sup>

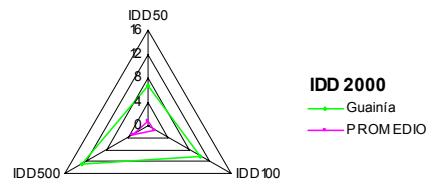
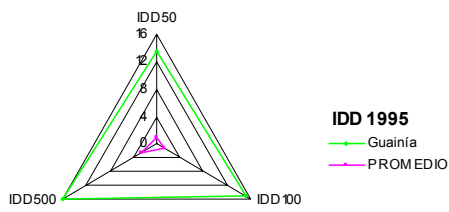
Población: 2.142.260 habitantes

Municipios: 117

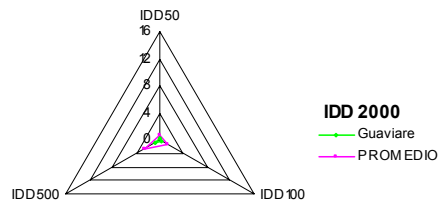
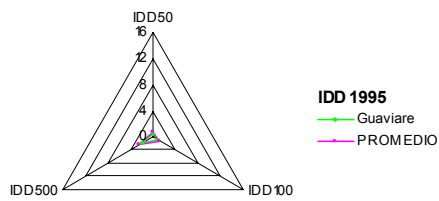




Área: 71564 Km<sup>2</sup>  
 Población: 37.162 habitantes  
 Municipios: 9



Área: 55451 Km<sup>2</sup>  
 Población: 117.189 habitantes  
 Municipios: 4

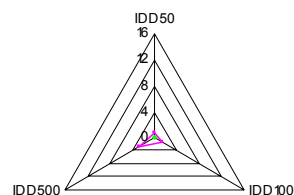
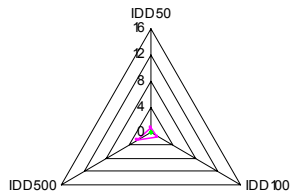
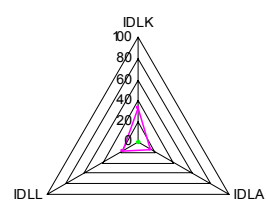
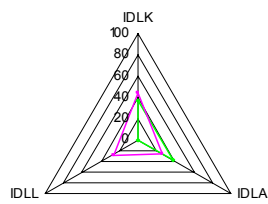
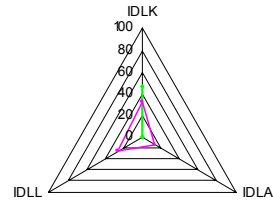
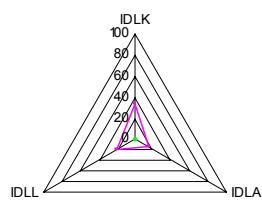
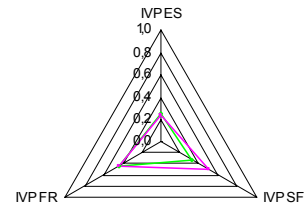
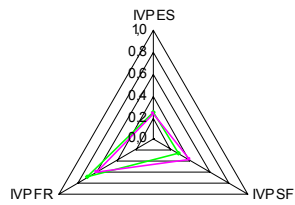




Área: 20670 Km<sup>2</sup>

Población: 483.106 habitantes

Municipios: 15



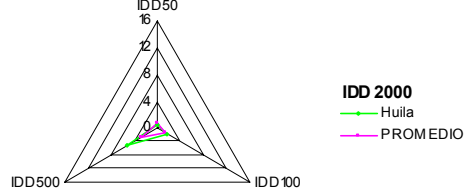
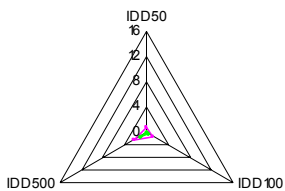
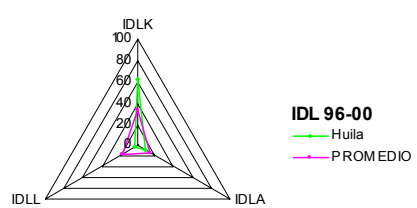
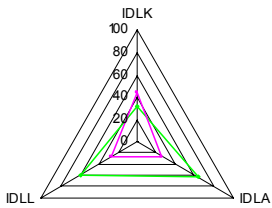
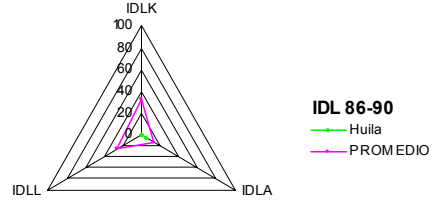
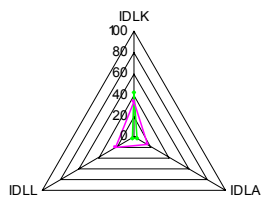
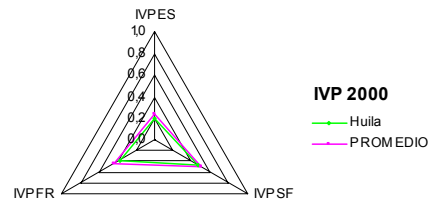
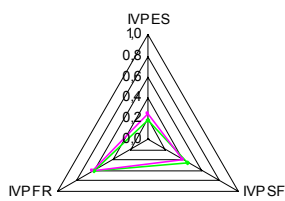


**Huila**

Área: 18710 Km<sup>2</sup>

Población: 924.968 habitantes

Municipios: 37



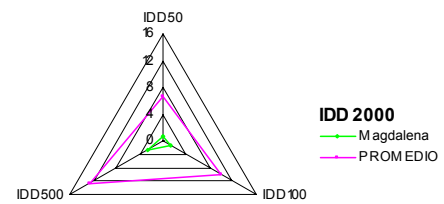
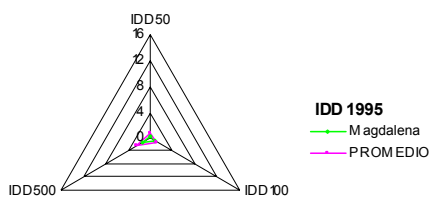
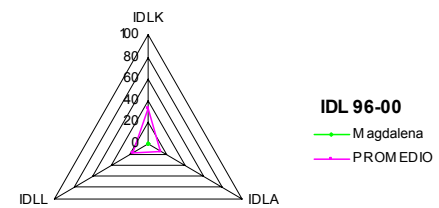
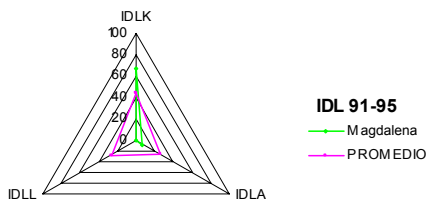
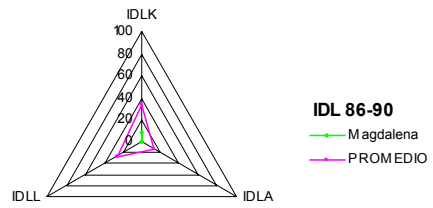
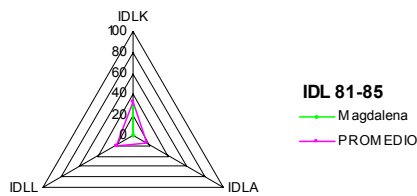
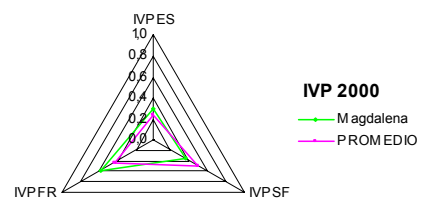
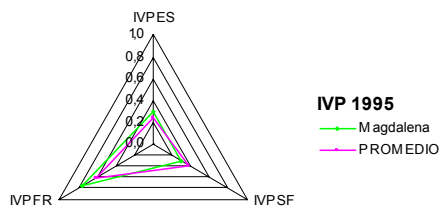


**Magdalena**

Área: 23203 Km<sup>2</sup>

Población: 1.284.135 habitantes

Municipios: 30



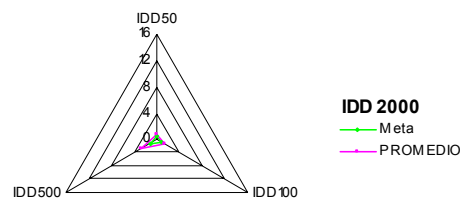
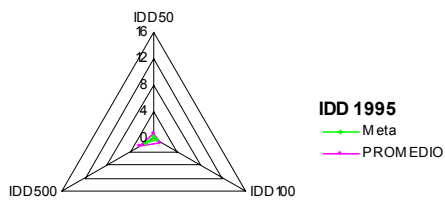
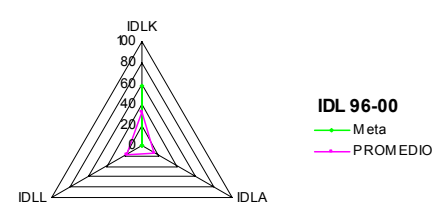
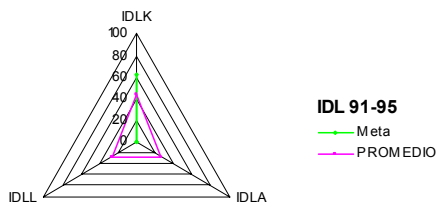
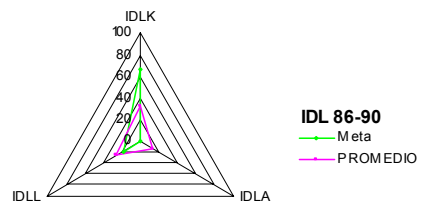
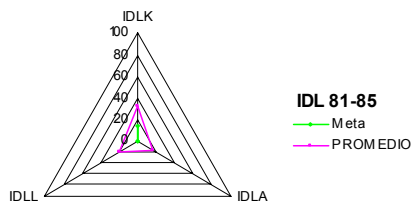
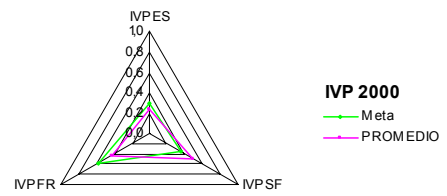
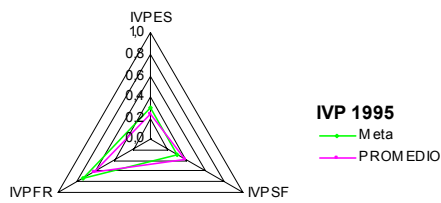




Área: 85481 Km<sup>2</sup>

Población: 700.506 habitantes

Municipios: 29



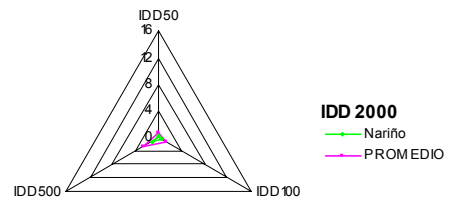
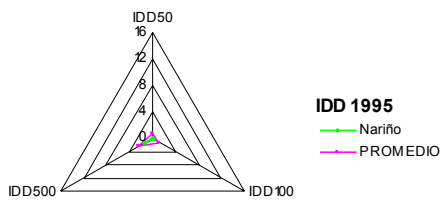
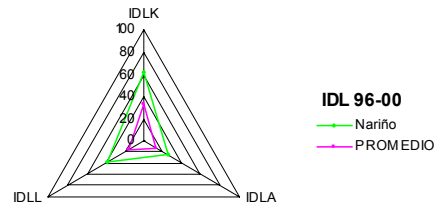
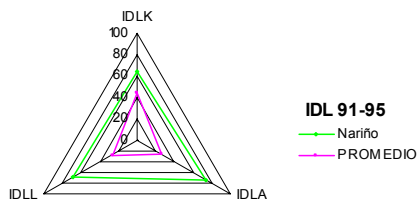
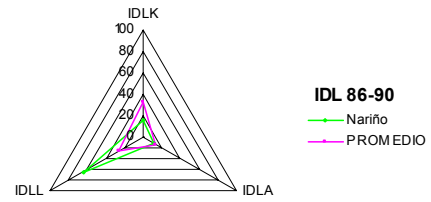
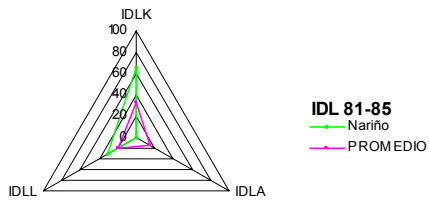
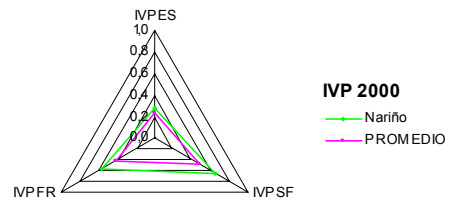
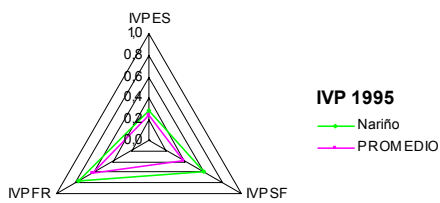


**Nariño**

Área: 31648 Km<sup>2</sup>

Población: 1.632.093 habitantes

Municipios: 64

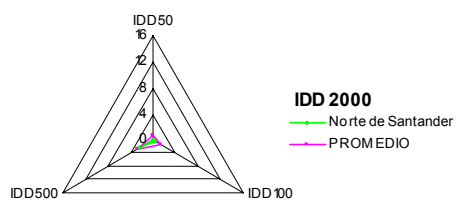
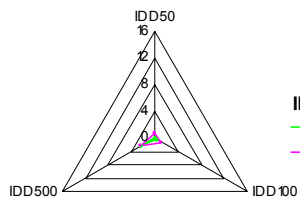
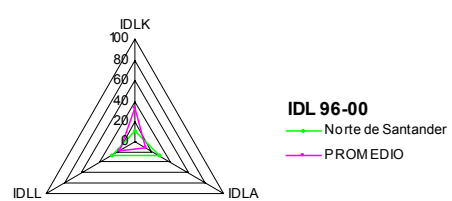
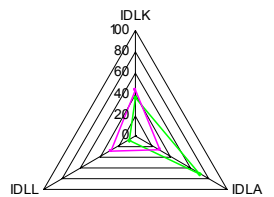
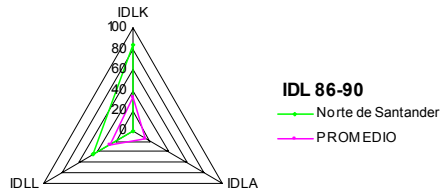
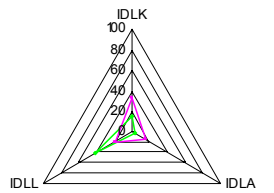
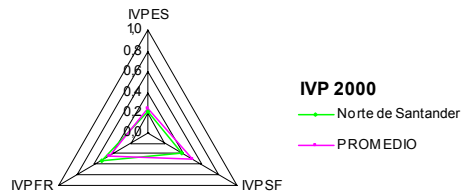
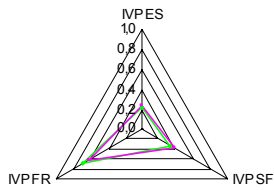




Área: 21929 Km<sup>2</sup>

Población: 1.345.697 habitantes

Municipios: 41

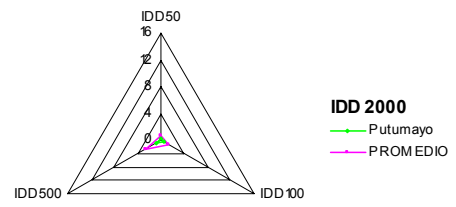
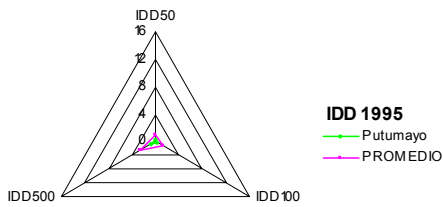




Área: 25892 Km<sup>2</sup>

Población: 332.434 habitantes

Municipios: 13

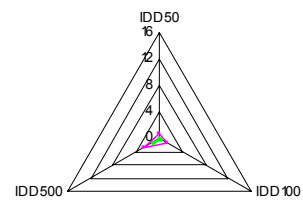
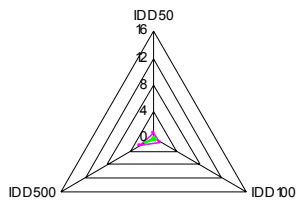
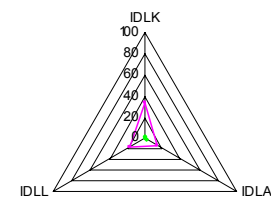
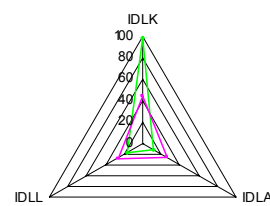
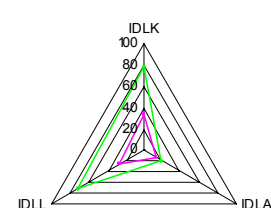
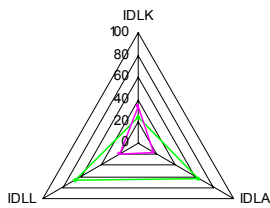
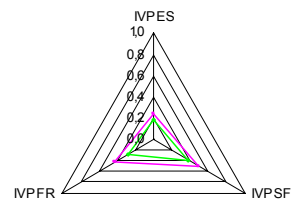
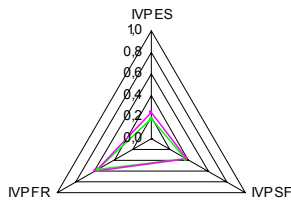




Área: 1935 Km<sup>2</sup>

Población: 562.156 habitantes

Municipios: 12



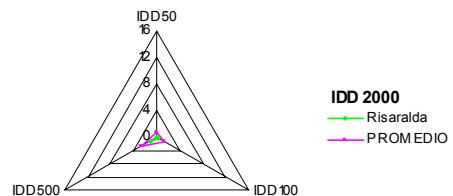
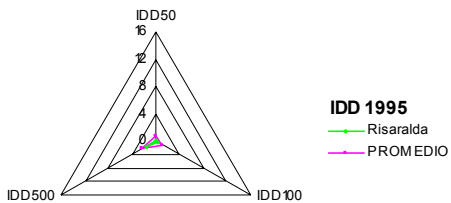
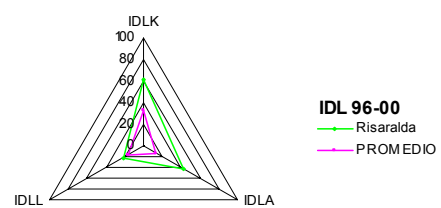
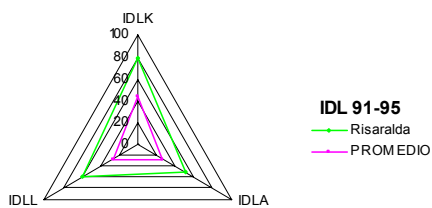
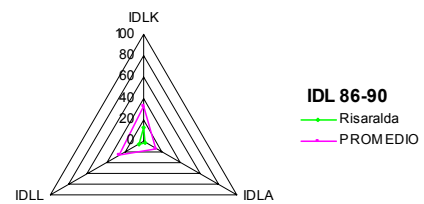
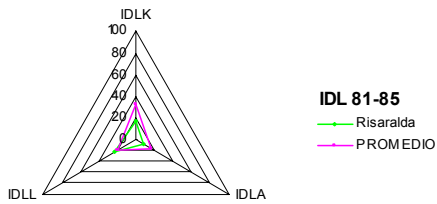
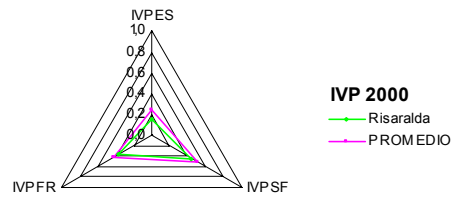
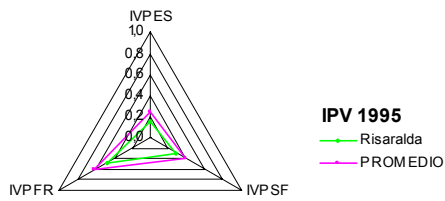


**Risaralda**

Área: 3541 Km<sup>2</sup>

Población: 944.298 habitantes

Municipios: 14

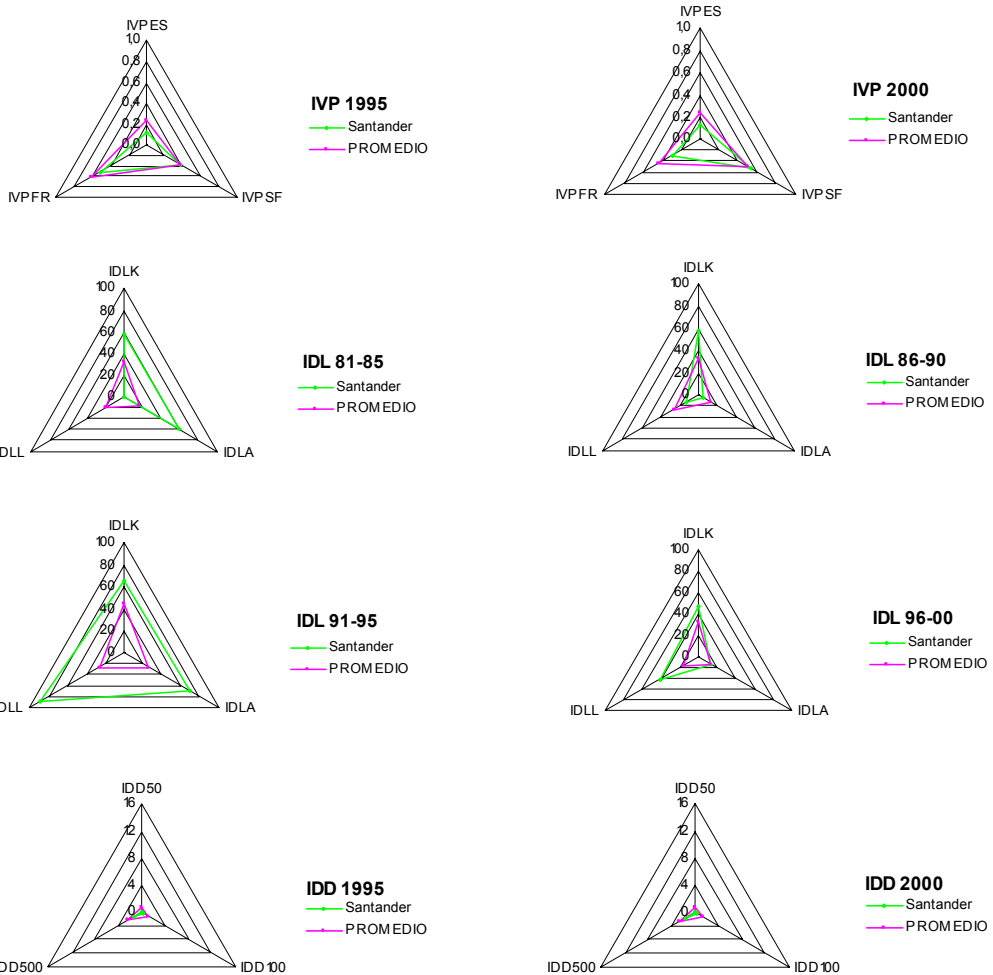




Área: 30596 Km<sup>2</sup>

Población: 1.964.361 habitantes

Municipios: 87



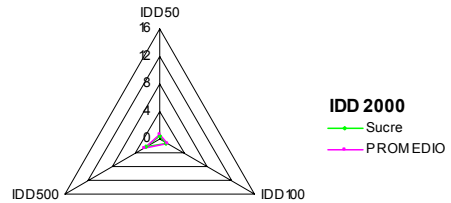
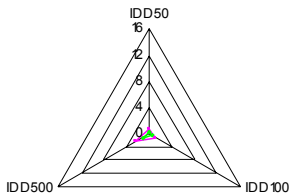
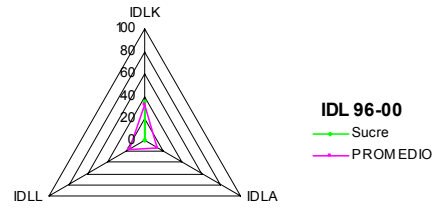
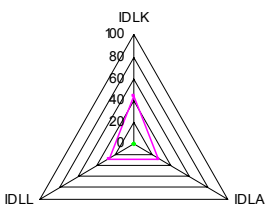
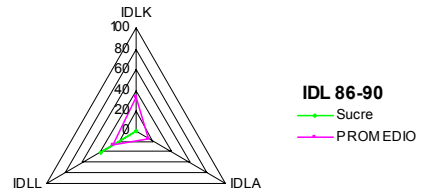
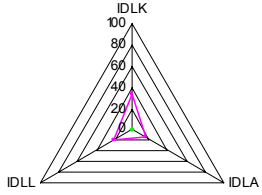
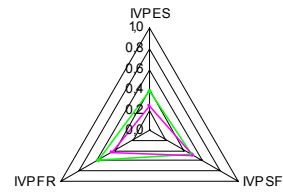
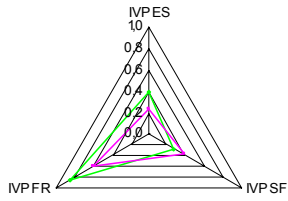


**Sucre**

Área: 10706 Km<sup>2</sup>

Población: 794.631 habitantes

Municipios: 27



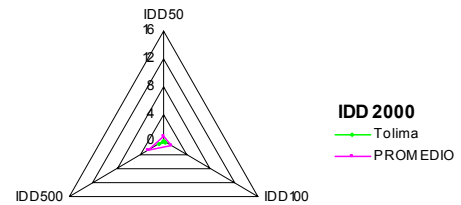
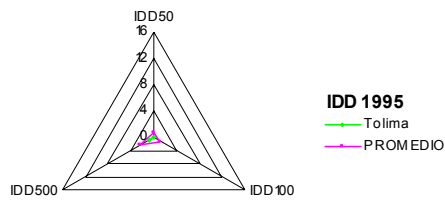
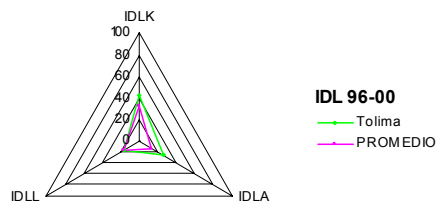
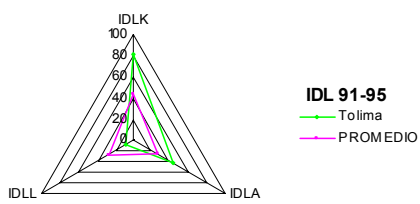
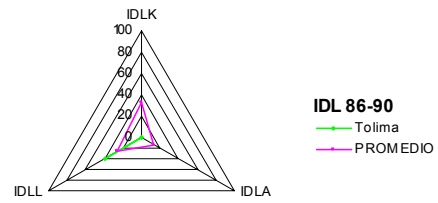
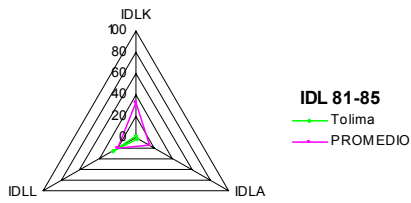
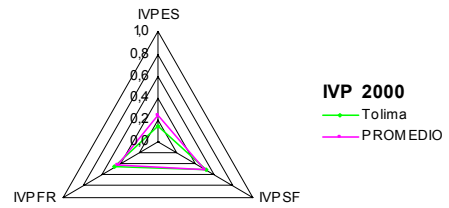
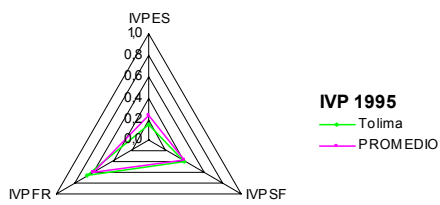




Área: 23981 Km<sup>2</sup>

Población: 1.296.942 habitantes

Municipios: 47



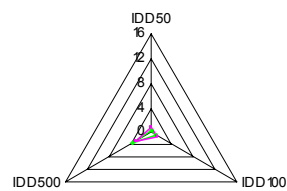
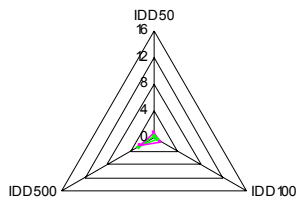
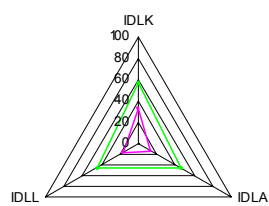
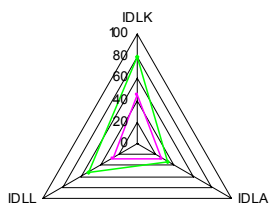
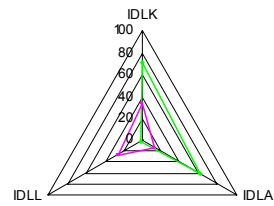
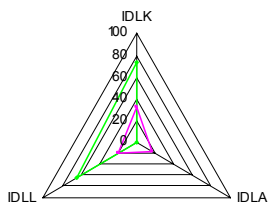
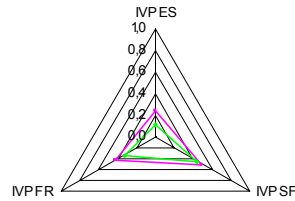
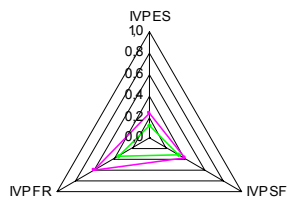


**Valle del Cauca**

Área: 21306 Km<sup>2</sup>

Población: 4.175.515 habitantes

Municipios: 42



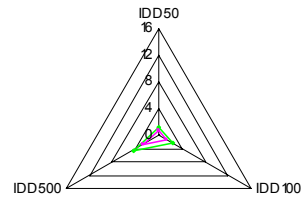
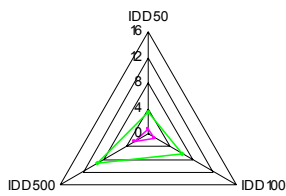


**Vaupés**

Área: 53541 Km<sup>2</sup>

Población: 29.942 habitantes

Municipios: 6

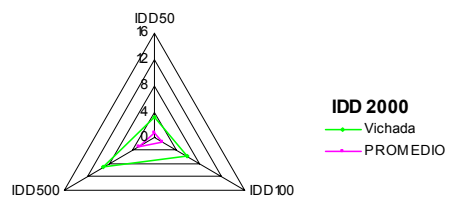
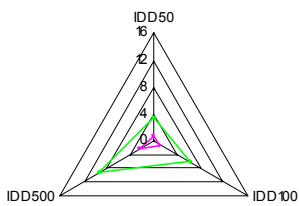


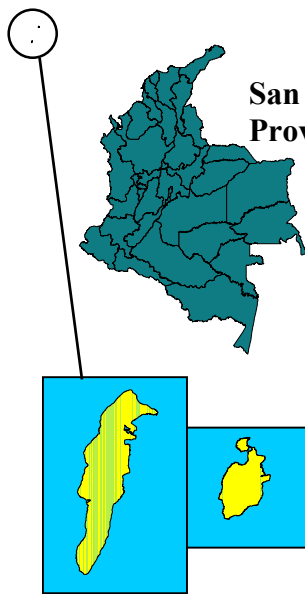
**Vichada**

Área: 100009 Km<sup>2</sup>

Población: 83.467 habitantes

Municipios: 4



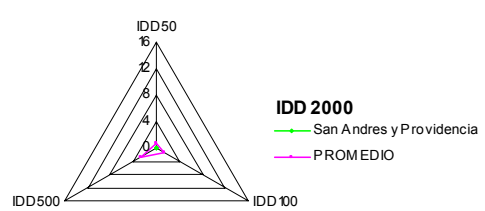
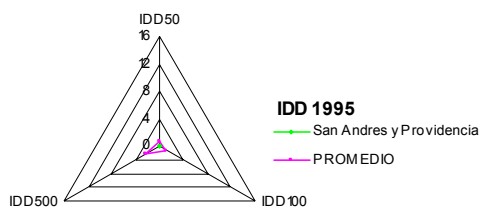
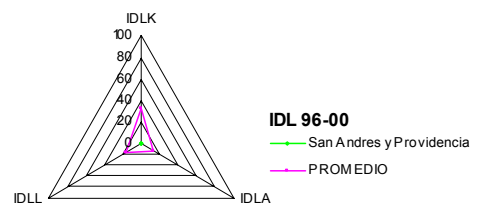
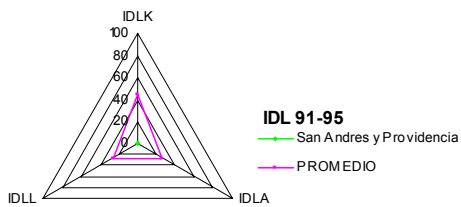
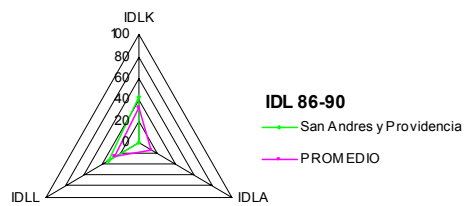
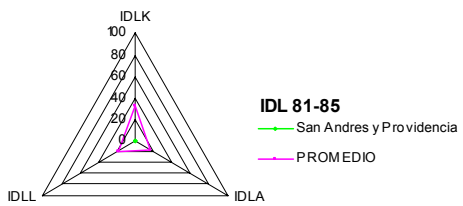


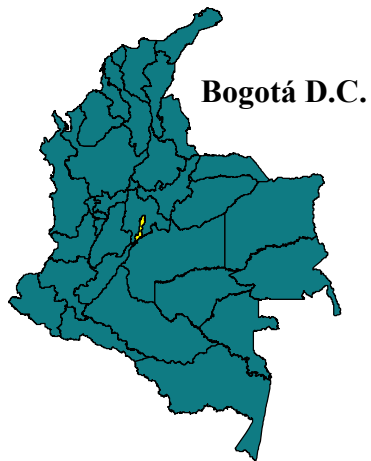
**San Andrés y Providencia**

Área: 49 Km<sup>2</sup>

Población: 73.465 habitantes

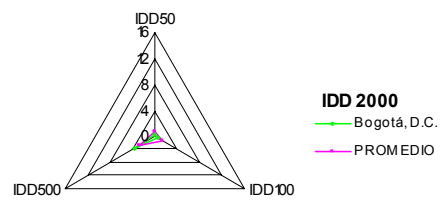
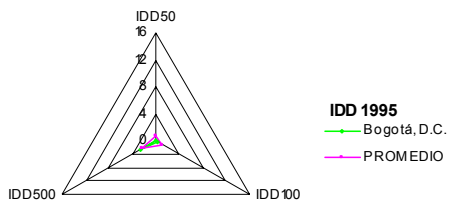
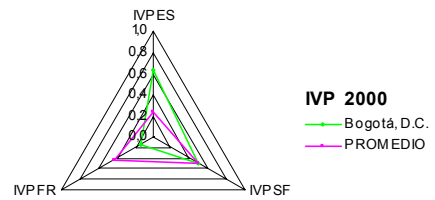
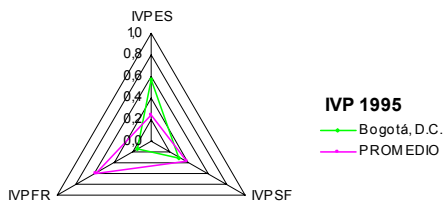
Municipios: 64





Área: 1634 Km<sup>2</sup>

Población: 6.437.842 habitantes





## REFERENCIAS

- Aktan, A.E., Ho, I.K. (1990). "Seismic Vulnerability Evaluation of Existing Buildings", *Earthquake Spectra*, 6(3).
- Albala-Bertrand, J.M. (1993). "Natural Disaster Situations and Growth: A Macroeconomic Model for Sudden Disasters Impacts", *World Development* 21(9): 1417-1434.
- Albala-Bertrand, J.M. (2002). "Urban Disasters and Globalization". *The Future of Disaster Risk: Building Safer Cities. Conference* organized by the ProVentium Consortium. DMF, World Bank.  
[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.
- Barbat, A. H. (2003a). "Vulnerability and Disaster Risk Indices from Engineering Perspective and Holistic Approach to Consider Hard and Soft Variables at Urban Level", *IADB/IDEA Program on Indicators for Disaster Risk Management*, <http://idea.unalmzl.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Barbat, A. H. (2003b). "Detailed application of the holistic approach for seismic risk evaluation on an urban center using relative indices", *IADB/IDEA Program on Indicators for Disaster Risk Management*, <http://idea.unalmzl.edu.co> Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Barreto, L.H. (2003). "Redistribución: nuevo nombre del desarrollo", *Universidad Nacional de Colombia, UN Periódico*, 50, septiembre, Bogotá, Colombia.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad, el Entorno Social de los Desastres*, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, La RED, ITDG, Bogotá.
- Benson, C. (2003a). *The Economy-wide Impact of Natural Disasters in Developing Countries*. London: University of London.

- Benson, C. (2003b). "Potential approaches to the development of indicators for measuring risk from a macroeconomic perspective", *IADB/IDEA Program on Indicators for Disaster Risk Management*, <http://idea.unalmzl.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Benson, C. (2004). "Macroeconomic Concepts of Vulnerability: Dynamics, Complexity and Public Policy", in *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*, G. Bankoff, G. Frerks, D. Hilhorst (Ed), Earthscan Publishers, London.
- Briguglio, L. (2003a). "Some Considerations with Regard to the Construction of an Index of Disaster Risk with Special Reference to Islands and Small States", *IADB/IDEA Program on Indicators for Disaster Risk Management*, <http://idea.unalmzl.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Briguglio, L. (2003b). "Methodological and practical considerations for constructing socio-economic indicators to evaluate disaster risk", *IADB/IDEA Program on Indicators for Disaster Risk Management*, <http://idea.unalmzl.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Cannon, T. (2003). "Vulnerability Analysis, Livelihoods and Disasters Components and variables of vulnerability: modelling and analysis for disaster risk management", *IADB/IDEA Program on Indicators for Disaster Risk Management*, <http://idea.unalmzl.edu.co> Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Cardona, O.D. (1985). "Hazard, Vulnerability and Risk Assessment", unedited working paper, *Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology IZIS*, Skopje, Yugoslavia.
- Cardona, O.D. (1986). "Estudios de Vulnerabilidad y Evaluación del Riesgo Sísmico: Planificación Física y Urbana en Áreas Propensas", Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, *Boletín Técnico AIS* No. 33, Bogotá, Colombia.
- Cardona O.D. (1996a). "Manejo Ambiental y Prevención de Desastres: Dos Temas Asociados", *Ciudades en Riesgo*, M. A. Fernández (Ed.), La RED, USAID, reimpresión como *Cities at Risk*, A/H Editores, 1999.
- Cardona O.D. (1996b). "Manejo de la Crisis Volcánica del Galeras" / "Variables Involucradas en el Manejo de Riesgos", *Desastres & Sociedad*, No. 6, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, Tarea Gráfica, Lima.
- Cardona, O.D. (1997). "Management of the Volcanic Crises of Galeras Volcano: Social, Economic and Institutional Aspects", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1698, Elsevier, London.
- Cardona, O. D. y Barbat, A. H. (2000). *El Riesgo Sísmico y su Prevención*, Cuaderno Técnico 5, Calidad Siderúrgica, Madrid, España.
- Cardona, O.D. (2001). *Estimación Holística del Riesgo Sísmico utilizando Sistemas Dinámicos Complejos*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Cardona, O.D. (2004). "The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management", in *Mapping Vulnerability: Disasters, Development*



- and People*, G. Bankoff, G. Frerks, D. Hilhorst (Ed.), Earthscan Publishers, London, UK.
- Cardona, O.D.; Hurtado, J. E.; Duque, G.; Moreno, A.; Chardon, A.C.; Velásquez, L. S. y Prieto, S. D. (2003a). “La Noción de Riesgo desde la Perspectiva de los Desastres: Marco Conceptual para su Gestión Integral”. *IADB/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmzl.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales
- Cardona, O.D.; Hurtado, J. E.; Duque, G.; Moreno, A.; Chardon, A.C.; Velásquez, L. S. y Prieto, S. D. (2003b). “Indicadores para la Medición del Riesgo: Fundamentos para un Enfoque Metodológico”, *IADB/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmzl.edu.co> Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Cardona, O. D. Hurtado, J. E.; Duque, G.; Moreno, A.; Chardon, A.C.; Velásquez, L. S. y Prieto, S. D. (2004a). “Dimensionamiento relativo del riesgo y de la gestión - Metodología Utilizando Indicadores a Nivel Nacional” *IADB/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmzl.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Carreño-Tibaduiza, M.L (2001). *Sistema Experto para la Evaluación del Daño Postsísmico en Edificios*, Tesis de Magister, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.
- Carreño Tibaduiza, M.L.; Cardona O.D. y Barbat A. (2004). *Metodología para la evaluación del desempeño de la gestión del riesgo*. Colección de Monografías Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería – CIMNE, 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 tomos.
- CID (2003). *Bien-estar y Macroeconomía, Informe de Coyuntura*, Centro de Investigaciones para el Desarrollo, Universidad Nacional de Colombia, Contraloría General de la República, Bogotá, Colombia.
- Coburn A. and Spence R. (1992). *Earthquake protection*. Ed. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.
- Comfort, L.K. (1999). *Shared Risk: Complex Systems in Seismic Response*, Pergamon, New York.
- Comfort, L. (2003). “Measuring Vulnerability to Hazards: Concepts, Methods, and Practice”, *IADB/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmzl.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Davidson, R., (1997). *An Urban Earthquake Disaster Risk Index*, *The John A. Blume Earthquake Engineering Center*, Department of Civil Engineering, Stanford University, Report No. 121, Stanford, USA.
- Davis, I. (2003). “The Effectiveness of Current Tools for the Identification, Measurement, Analysis and Synthesis of Vulnerability and Disaster Risk”, *IADB/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmzl.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

- Fournier d'Albe, M. (1985). "The Quantification of Seismic Hazard for the Purposes of Risk Assessment", International Conference on Reconstruction, Restauration and Urban Planning of Towns and Regions in Seismic Prone Areas, Skopje, Yugoslavia.
- Freeman, P.K., Martin, L.A., Mechler, R., & Warner, K. (2002a). *Catastrophes and Development: Integrating Natural Catastrophes into Development Planning*, Disaster Risk Management Working Paper Series No. 4. Washington: World Bank.
- Freeman, P.K., Martin, L.A., Linneroot-Bayer, J., Mechler, R., Pflug G. & 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, Washington.
- Gilbert, R., Kreimer, A. (1999). "Learning from the World Bank's Experience of Natural Disaster Related Assistance", *Urban and Local Government Working Paper Series 2*, World Bank Washington, DC.
- Hayman, B. (1998). *Fundamentals of Engineering Design*, Upper Saddle River, Prentice Hall, New Jersey.
- Heyman, B, Davis, C., Krumpel, P.F. (1991). "An Assessment of Worldwide Disaster Vulnerability". *Disaster Management* 4(1): 3-14
- Holzmann, R. (2001). *Risk and Vulnerability: The Forward Looking Role of Social Protection in a Globalizing World*. SP Discussion Paper No. 0109. June. The World Bank, Washington, USA.
- Holzmann, R. & Jorgensen, S. (2000). *Manejo Social del Riesgo: un nuevo marco conceptual para la protección social y más allá*. Documento de trabajo No.0006 sobre protección social. Banco Mundial. Washington, USA.
- ICC/CIMNE (2004). "An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns" *WP08 Application to Barcelona Proyecto RISK-UE*
- ISDR (2003). "A framework to guide and monitor disaster risk reduction", draft proposal, *ISDR/UNDP*, <http://www.unisdr.org/dialogue/basicdocument.htm> online conference <http://www.unisdr.org/dialogue/>
- JRC-EC (2002). "State-of-the-art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development", *Applied Statistics Group, Joint Research Centre, European Commission, Institute for Protection and Security of the Citizen Technological and Economic Risk Management*, Ispra, Italy.
- La RED (2002). *Análisis comparativo de bases de datos de desastres*, Working Group 3 of Inter-Agency Tasks Force of ISDR on Risk, Vulnerability and Impact Assessment. Geneva.
- Lavell, A. (2000). "Draft Annotated Guidelines for Inter-Agency Collaboration in Programming for Disaster Reduction", unprinted for *Emergency Response Division at UNDP*, Geneva.
- Lavell, A. (2003a). "I. International Agency Concepts and Guidelines for Disaster Risk Management; II. The Transition from Risk Concepts to Risk Indicators",

- IADB/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmz.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Lavell, A. (2003b). "Approaches to the construction of risk indicators at different spatial or territorial scales and the major components of indicator systems-conceptual bases, risk construction processes and practical implications", *IADB/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmz.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Masure, P. (2003). "Variables and indicators of vulnerability and disaster risk for land-use and urban or territorial planning", *IADB/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmz.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Mileti, D.S. (1999). *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*. Washington, D.C. Joseph Henry Press.
- Milutinoviç, Z., Petrovski J. (1985a). *Earthquake Damage Prediction - Modeling and Assessment*, IZIIS, Skopje
- Milutinoviç, Z., Petrovski J. (1985b). "Earthquake Vulnerability and Loss Assessment for Physical and Urban Planning", International Conference on Reconstruction, Restoration and Urban Planning of Towns and Regions in Seismic Prone Areas, IZIIS, Skopje, Yugoslavia.
- Mitchell, T (2003). "An operational framework for mainstreaming disaster risk reduction", *Benfield Hazard Research Centre Disaster Studies Working Paper 8*
- Munda, G. (2003). "Methodological Exploration for the Formulation of a Socio-Economic Indicators Model to Evaluate Disaster Risk Management at the National and Sub-National Levels. A Social Multi-Criterion Model", *IADB/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmz.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Munda, G. & Nardo, M. (2003). *On the Methodological Foundations of Composite Indicators Used for Ranking Countries*. Universitat Autònoma de Barcelona, Dep. of Economics and Economics History, Barcelona, España.
- Munich Re (1999). *A Year, a Century, and a Millennium of Natural Catastrophes are all nearing their End*, Press release of 20 December. Munich Re, Munich, Germany.
- OPS (1993). *Mitigación de Desastres en las Instalaciones de la Salud, Aspectos Generales, de Administración, Arquitectura, e Ingeniería*, Cuatro Volúmenes, Organización Panamericana de la Salud, Washington.
- Pidgeon, N.F. (1992). "The Psychology of Risk", in *Engineering Safety*, Blockley, D. (Ed.), MacGraw-Hill International Series in Civil Engineering, London.
- Rogge, J.R. (1992). *Una Agenda de Investigación para el Manejo de Desastres y Emergencias*, PNUD-UNDRO, Universidad de Minotoba
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill Book Co., N.Y.
- Saaty R.W. (1987). "The analytic hierarchy process- what it is and how it is used", *Mathematical Modeling*, 9, 161-176.
- Saaty T. L. (1988). *Mathematical methods of operations research*. New York.

- Saaty, T.L., Vargas, L.G. (1991). *Prediction, Projection, and Forecasting: Applications of the Analytical Hierarchy Process in Economics, Finance, Politics, Games, and Sports*. Boston: Kluwer Academic Publishers
- Saaty T. L. (2001). *Decision making for leaders the analytic hierarchy process for decisions in a complex world*. Pittsburg RWS
- Stewart, M., Melchers, R. (1997). *Probabilistic risk assessment of engineering systems*, Chapman & Hall.
- Taylor C., Vanmarcke E., Davis J. (1998). *Evaluating Models of Risk from Natural Hazards Paying the Price*, Kunreuther H., Roth R.J., (Eds.) Joseph Henry Press, Washington.
- UNDP (1990, 2001). *Human Development Report*. <http://www.undp.org>
- UNDP (2004). Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development. A Global Report, Chapter 2th: International Patterns of Risk, The Disaster Risk Index, DRI, Geneva. <http://www.undp.org/bcpr/disred/rdr.htm>
- UNDRO (1979). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis, Report of Experts Group Meeting*, Geneva
- UN-OCHA (2000). *Structured Humanitarian Assistance Reporting*, SHARE, Geographic Information Support Team (GIST), [www.reliefweb.int](http://www.reliefweb.int).
- Universidad de los Andes (1996). *Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá*, Ingeominas, 17 volúmenes, Santa Fe Bogotá
- Wikjman, A., Timberlake, L. (1984). *Natural Disasters: Acts of God or Acts of Man?*, Earthscan, Washington, D.C.
- Wilches-Chaux G. (1989). *Desastres, Ecologismo y Formación Profesional*, SENA, Popayán, Colombia.
- White, G.F., Haas, E., (1975). *Assessment of Research on Natural Hazards*, Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Wisner, B. (2001). "Vulnerability in Disaster Theory and Practice: From Soup to Taxonomy, Then to Analysis and Finally Tool", *International Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice*, University of Wageningen, Netherlands.
- Wisner, B. (2003). Turning knowledge into timely and appropriate action: Reflections on IADB/IDEA program of disaster risk indicators, *IADB/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos*, <http://idea.unalmz.edu.co>, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Wisner, B., Blaikie, P. Cannon, T., Davis, I. (2003). *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. 2nd Edition. London: Routledge.
- World Bank (2003). *World Development Indicators 2003*. CD-ROM, IBRD, Washington, USA.
- World Bank (2002). *World Development Indicators 2002*, IBRD, Washington, USA.
- World Economic Forum (2002). *Environmental Sustainability Index*, Annual Meeting 2002. [http://www.ciesin\\_org/indicators/ESI/index.html](http://www.ciesin_org/indicators/ESI/index.html)

