

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

RELACIONES EMPÍRICAS ENTRE DESARROLLO Y DESASTRE

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de
la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Geología para
optar al grado y título de
Maestría Profesional en Gestión de Riesgo en Desastres y Atención de
Emergencias

CHRISTOPHER MARK LAVELL

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2021

Dedicatoria

Dedicado con todo mi amor a mi hijo, Kai Anders Lavell, y que su futuro sea en un mundo con menos riesgo y más oportunidad.

Agradecimientos

Muchas gracias a todas las personas que me ayudaron o asistieron en concebir e implementar las ideas desarrolladas en este trabajo. Especialmente me gustaría agradecer a mi padre, Allan Lavell, Ph.D., y a mis lectores, David Smith, M.Sc., y Pascal Girot, M.Sc. por toda su ayuda, profesional como personal, durante el proceso de producir esta tesis. Agradezco los aportes brindados por Elena Badilla M.Sc., en su capacidad como tutora y por la revisión detallada de los borradores y la guía de este trabajo. A Eiliana Montero-Rojas, Ph.D., profesora de cuyo curso aprendí acerca de los modelos SEM utilizados en este trabajo, y quien asistió como lectora en este proyecto. También quiero agradecer por sus apoyos conceptuales a las siguientes personas: Andrew Maskrey, Ms.C. y Bina Desai, Ph.D. de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo (UNISDR); el equipo conceptual y técnico de DARA; Alonso Brenes, M.Sc., Ian Burton, Ph.D., Omar Darío Cardona, Ph.D., Susan Cutter, Ph.D., Justin Ginetti, M.Sc., Elizabeth Mansilla, Ph.D., Mark Pelling, Ph.D., y Tony Oliver Smith, Ph.D. También le agradezco muchísimo a todos los que me han apoyado de una forma u otra, en mi familia, amigos y colegas, durante este proceso.

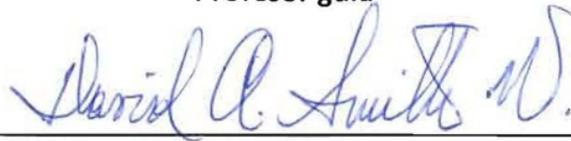
“Este trabajo final de investigación aplicada, fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Geología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado de Maestría Profesional en Gestión de Riesgo en Desastres y Atención de Emergencias”



Dr. Marco Barahona Palomo
**Representante del decano
Sistema de Estudios de Posgrado**



M.Sc. Elena Badilla Coto
Profesor guía



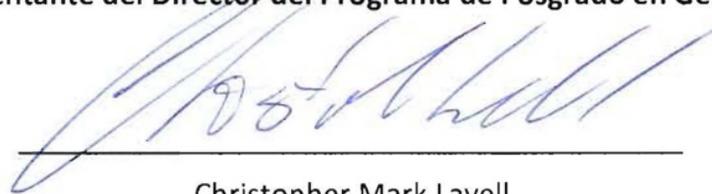
M.Sc. David Anthony Smith Wiltshire
Lector



M.Sc. Pascal Girot Pignot
Lector



Dr. Maximiliano Garnier Villareal
Representante del Director del Programa de Posgrado en Geología



Christopher Mark Lavell
Sustentante

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos	iii
Hoja de aprobación	iv
Tabla de contenido.....	v
Resumen	vii
Resumen - Inglés	ix
Lista de tablas.....	x
Lista de figuras	xi
Lista de abreviaturas	xiii
I. Introducción	1
A. Prefacio: ¿Qué, por qué, cómo?	1
B. Descripción del proyecto.....	6
C. Hipótesis.....	8
D. Objetivos.....	9
1. Objetivo principal.....	9
2. Objetivos específicos	9
E. Metodología.....	10
F. Contenido y Estructura	14
II. Teoría del Riesgo de Desastres.....	18
A. Introducción.....	18
B. Definiciones	20
1. Definiciones básicas.....	20
2. Terminología adicional.....	22
III. Cuantificación de riesgo y desarrollo	25
A. Introducción.....	25
B. “Stakeholders” (partes interesadas).....	27
1. Instituciones de investigación.....	27
2. Re-aseguradoras	30
3. Proyectos Públicos.....	31
C. Bases de datos.....	32
1. Global.....	33
2. Nacional	33
3. Plataformas de datos.....	34
4. Otros	35
D. Herramientas para el modelado y análisis	36
1. Encuestas	36
2. Indicadores	38
3. Herramientas de modelado	43
4. Herramientas SIG.....	52
IV. Importancia de las relaciones causales	61
A. ¿Qué es la causalidad?	61
1. Nociones históricas de causalidad	61
2. Nociones contemporáneas de la causalidad	64

B. <i>¿Qué es Inferencia Causal?</i>	67
C. <i>¿Qué es el modelado causal probabilístico?</i>	68
1. El análisis de rutas.....	68
2. Ecuaciones lineales simultáneas.....	68
3. Integración del análisis de la ruta y las ecuaciones lineales simultáneas.....	69
D. <i>¿Qué es el modelado de ecuaciones estructurales (SEM)?</i>	70
V. Modelo SEM de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre	74
A. <i>Contexto</i>	74
B. <i>Metodología</i>	75
1. Datos.....	75
2. LISREL.....	76
3. Modelos de Análisis Factorial Confirmatorio (AFC)	77
4. Modelos de Ecuaciones Estructurales (SEM).....	87
C. <i>Resultados</i>	88
1. Modelación preliminar	88
2. Modelo SEM de Gobernabilidad, Ambiente y el Riesgo de Desastres (2-9l)	95
3. Resultados de estadísticas de encaje.....	98
VI. Implicaciones nacionales y sub-nacionales en Latinoamérica	101
A. <i>Costa Rica</i>	102
1. Contexto	102
2. Configuración de gobernabilidad, ambiente y riesgo	103
3. Datos clave.....	108
B. <i>Guatemala</i>	112
1. Contexto	112
2. Configuración de gobernabilidad, ambiente y riesgo	113
3. Datos clave.....	115
VII. Resumen	119
A. <i>Conclusiones</i>	119
1. Limitaciones y alcances.....	119
2. Interpretación de resultados	121
3. Conclusiones específicas.....	123
4. Conclusiones generales.....	125
B. <i>Recomendaciones</i>	126
C. <i>Pasos siguientes</i>	128
VIII. Referencias consultadas	130
IX. Bibliografía adicional consultada	135
A. <i>Desastre, Desarrollo</i>	135
B. <i>Estadística, ciencias de la computación, econometría, finanzas</i>	139
C. <i>Definiciones y fuentes de datos</i>	141
X. Anexos	142
A. <i>Variables observadas</i>	142
B. <i>Listados completos de modelos SEM finales (2-9m, 2-9l, 2-9n)</i>	146
1. Modelo 2-9n: Un elemento de gobernabilidad, un elemento de riesgo	146
2. Modelo 2-9m: Un elemento de gobernabilidad, 2 elementos de riesgo	153
3. Modelo 2-9l: 2 elementos de gobernabilidad, 2 elementos de riesgo.	160
C. <i>Modelos SEM Preliminares</i>	167
D. <i>Modelos de Análisis Factorial Confirmatorio (AFC)</i>	178

Resumen

La Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) ha migrado, en las últimas décadas, de un enfoque basado en una preparación para atender a los desastres, a un enfoque de gestionar los riesgos que se materializan en forma de desastre, y finalmente hacia un enfoque de gestionar los procesos de desarrollo que promueven la acumulación del riesgo de desastre. Lo implícito en este cambio de paradigma, es que son los procesos de desarrollo no-sostenibles y no los eventos naturales que típicamente asociamos con “desastre”, que son la principal causa controlable de desastres. Estos procesos no-sostenibles acumulan riesgo latente que queda escondido hasta que un evento natural desencadena una crisis social que es típica y erróneamente llamada “desastre natural”. En la actualidad, los términos “evento natural” y “desastre social” son mucho más descriptivos de esta realidad. En el presente análisis, tomamos esta relación causal postulada entre procesos de desarrollo y el riesgo de desastre como nuestra hipótesis, e intentamos comprobar su validez utilizando datos empíricos y modelos causales.

Para poder modelar y comprobar la relación causal entre procesos de desarrollo no sostenibles y desastres, primero se agregaron datos de varias fuentes sobre desastre y riesgo. Los datos incluyen muchas de las bases de datos globales y nacionales sobre pérdidas por desastre e indicadores de desarrollo, gobernabilidad y ambiente. Estos datos se utilizaron dentro de un Modelo de Ecuaciones Estructurales (SEM, por sus siglas en inglés) basados en modelos conceptuales aceptados en GRD.

SEM es un sistema de modelación comúnmente utilizado para establecer relaciones causales entre variables latentes no observables. Estos constructos no directamente observables del riesgo de desastre, como son la “vulnerabilidad”, la “exposición” y la “amenaza”, y las relaciones que asumimos entre ellas, no pueden ser directamente medidas. Pero empleando SEM, y logrando que los datos se normalicen dentro de las limitaciones del sistema, entonces, en teoría, los modelos conceptuales de GRD pueden ser comprobados empíricamente.

En ese proceso, primero se intentó mapear modelos conceptuales del riesgo de desastre y desarrollo, utilizando la metodología SEM para primero establecer modelos de análisis factorial para concretar las variables latentes, y después usar estas variables para comparar las pérdidas por desastre modeladas usando el modelo conceptual contra los datos actuales sobre pérdidas. Finalmente, se comprobó el nivel de encaje de los modelos para establecer cuáles se aproximan más a la realidad, es decir, cuales tienen mayor potencial de nivel predictivo.

Se describieron tres variantes del modelo SEM con la combinación de mejor ajuste de modelo y mejor aplicabilidad en el mundo real. Aunque el concepto de desarrollo en sí fue difícil de modelar directamente, si se pudo obtener niveles de encaje razonablemente buenos con el factor subyacente más importante del desarrollo - la gobernabilidad - , y su relación con riesgo de desastres y el ambiente. De las tres variantes de este modelo, el

menos parsimonioso, es decir el más sencillo, obtuvo el mejor nivel de encaje también provee el mejor poder explicativo.

El modelo de Gobernabilidad, Ambiente y Riesgo de Desastres descrito en este trabajo obtuvo valores de ajuste cercanos a los límites comúnmente aceptados para un buen grado de ajuste, con un valor de Chi -cuadrado de 163 (con 110 grados de libertad), el CFI (Índice de ajuste comparativo) de 0,98 (0.90 o más es el umbral aceptado) , un GFI (índice de calidad del encaje) de 0.90 (0.90 o más es el umbral aceptado) y un RMSEA (Error de aproximación “Root Mean Squared”) de 0.054 (0.05 o menos es el umbral aceptado). Todas estas cifras indican un resultado, ya sea con un alto grado de ajuste o bien, muy cerca de un alto grado de ajuste. Es decir, los resultados de correr los datos empíricos por el modelo conceptual produjeron resultados con un alto nivel de encaje con las pérdidas observadas.

Se concluye con una discusión sobre las relaciones e implicaciones de este modelo dentro de dos países centroamericanos ejemplares de las configuraciones de riesgo existentes en la región: Costa Rica y Guatemala.

Se espera poder usar algún día los modelos logrando altos niveles de encaje, para así poder establecer cuáles intervenciones en los modos de desarrollo tienen la mejor posibilidad de reducir el riesgo de desastre en el futuro. Por ahora, se ha podido proponer los primeros pasos hacia la modelación de relaciones causales que promueven desastres. Entre las limitaciones enfrentadas al realizar esta tarea, está la desigual profundidad, calidad y cobertura de los datos disponibles sobre pérdidas y riesgo de desastres, circunstancia que puso en evidencia la necesidad de contar con datos de más alta resolución, más consistentemente recolectados, y más sencillamente compilados para poder en el futuro modelar estas relaciones con más alto nivel de certeza.

Resumen - Inglés

Disaster Risk Management (DRM) has moved, over the past several decades, from a focus on preparing for and managing disasters, to one of managing the risk that materializes in disasters, and increasingly towards managing the development processes that lead to the accumulation of disaster risk in the first place. The implicit assumption in this paradigm shift is that skewed and/or unsustainable development processes, and not natural events in themselves, are the principal manageable cause of disasters. These skewed development processes lead to the accumulation of “social risk” that remains hidden until an event triggers a social crisis that has been typically and erroneously termed a “natural disaster”. In the present analysis, we take this postulated causal relationship between development processes and disaster risk as our hypothesis and attempt to test its validity using empirical data and a causal modeling environment.

In order to model and test the hypothesized causal relationship between skewed or unsustainable development and disaster, we first aggregated time-series data from disparate sources including many of the leading global, regional and national disaster loss databases and development indicator sets. The data was then fed into Structural Equation Model (SEM) based upon commonly accepted conceptual models of disaster risk. SEM is a modeling environment commonly used to establish probabilistic causal relationships between unobserved latent factors. These unobserved constructs, such as “vulnerability”, “exposure” and “risk”, and the assumed relationships between them, can’t be directly measured, but using SEM they can be modeled and tested using empirical data.

We first attempt to map established expert opinion based conceptual models of disaster, risk and development into the SEM methodology to compare the losses predicted by these conceptual models against the observed disaster loss data. We then test the “fit” of the mapped conceptual models to determine which models best represent reality. Someday, we hope to use models with high degrees of fit to narrow down what development-related interventions have the highest probability of reducing disaster risk. For now, we have made some early in-roads into modeling disaster-related causal relationships. Among other challenges encountered, depth, quality and coverage of the underlying data are important limiting factors when dealing with disaster loss and risk data, and clearly point to the need for higher resolution, longer time series, more consistently collected, and easier to compile datasets.

We describe three variants of the SEM model that held the best real-world applicability together with model fit. Although the concept of development proved difficult to model directly, we were able to obtain reasonably high degrees of fit with the key underlying driver of development- governance, and its relationship with risk and the environment. Of the three variants, the least parsimonious model provided both the best model fit and best explicative power. We conclude by drawing some relationships and implications of this model within selected Latin American countries.

Lista de tablas

Tabla 3.1: ICCRR de DARA, análisis nacional.....	42
Tabla 3.2: Reportes, muertes y daño a casas por riesgo intensivo y riesgo extensivo.....	49
Tabla 3.3: Probabilidad de excedencia versus pérdidas estimadas.....	51
Tabla 5.1: Variables observadas en modelos SEM 2-9l, 2-9m, 2.9n.....	80
Tabla 5.2 Estadísticas de encaje del modelo computacional LISREL para los modelos principales de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre.....	94
Tabla 6.1: Damnificados, Costa Rica 1970-2010, en EM-DAT.....	110
Tabla 6.2: Damnificados, Guatemala, 1970-2010, según EM-DAT.....	116
Tabla 10.1: Variables observadas.....	142

Lista de figuras

Figura 3.1: Índice de Condiciones y Capacidades para Reducción de Riesgo.....	38
Figura 3.2: Índice de Gestión del Riesgo de Desastre para 17 países en la región LAC.....	39
Figura 3.3: Índice de Riesgo Mundial e Índice de Exposición.....	40
Figura 3.4: SoVI de HVRI para EEUU.....	41
Figura 3.5: UNEP/ SOPAC Indicador de vulnerabilidad ambiental.....	43
Figura 3.6: Índice de Déficit por Desastre (IDD, o DDI por sus siglas en inglés).....	44
Figura 3.7: Modelación CATSIM de gasto en caso de evento intensivo de IIASA.....	46
Figura 3.8: Curva híbrida de excedencia de pérdida para Colombia, México y Nepal.....	47
Figura 3.9: Casas destruidas y dañadas por desastres extensivos en Indonesia, 1970-2009.....	49
Figura 3.10: Uso de árboles de lógica y simulación para crear curvas de probabilidad de excedencia.....	51
Figura 3.11: Uso de ‘bounding’ para delimitar los resultados dentro de un rango de alta probabilidad.....	52
Figura 3.12: Distribución de riesgo de muerte por amenazas hidrometeorológicas (ciclones, inundaciones y deslizamientos causados por lluvias).....	54
Figura 3.13: ‘Un modelo multiplicativo’ demuestra cómo se computa el riesgo total con base en variables de amenaza, exposición y vulnerabilidad.....	55
Figura 3.14: Modelo HOTSPOTS, riesgo de muerte y riesgo de pérdida económica.....	57
Figura 3.15: Modelación CAPRA demuestra zonas de alta exposición, amenaza, vulnerabilidad.....	58
Figura 3.16: Modelación IHAT (Herramienta de Análisis de Amenaza Integrada) de HVRI.....	59
Figura 4.1: “Una historia simplista del SEM”.....	70
Figura 4.2: DAG con variables que tienen más de una causa para ilustrar la condición causal de Markov.....	71
Figura 4.3: Un SEM ejemplar, con variables latentes expresadas con círculos y variables observadas en cuadros.....	72
Figura 4.4: El proceso de evaluación de modelos SEM.....	73
Figura 5.1: Modelo AFC inicial del indicador ICCRR.....	79
Figura 5.2: Modelo AFC confirmatorio de EM-DAT.....	84
Figura 5.3: Modelo AFC confirmatorio de ICCRR.....	85
Figura 5.4: Modelo SEM de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre #2-9n.....	90
Figura 5.5: Modelo SEM de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre #2-9m.....	91
Figura 5.6: Modelo SEM de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre #2-9l.....	92

Figura 6.1: Exposición relativa a las amenazas, Costa Rica (por millón de habitantes).....	109
Figura 6.2: Viviendas destruidas, Costa Rica, 1970-2012, según la fuente DesInventar.....	111
Figura 6.3: Exposición relativa a las amenazas, Guatemala (por millón de habitantes).....	117
Figura 6.4: Viviendas destruidas, Guatemala, 1970-2012, según DesInventar	118
Figura 10.1: Modelo SEM 2-9n: Gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre.....	146
Figura 10.2: Modelo SEM 2-9m: Gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre.....	153
Figura 10.3: Modelo SEM 2-9l: Gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre.....	160
Figura 10.4: Modelo SEM de exposición física y ambiente.....	167
Figura 10.5: Modelo SEM de exposición física y condiciones sociales.....	169
Figura 10.6: Modelo SEM de efectividad gubernamental y riesgo de sismo.....	171
Figura 10.7: Modelo SEM de riesgo sísmico y gobernabilidad.....	173
Figura 10.8: Modelo SEM de riesgo multiamenaza y gobernabilidad.....	175
Figura 10.9: Modelo AFC inicial del indicador ICCRR.....	179
Figura 10.10: Modelo AFC de componente social del ICCRR.....	180
Figura 10.11: Modelo AFC de uso de suelos del ICCRR.....	182

Lista de abreviaturas

ACB	Análisis Costo-Beneficio
AFC	Análisis Factorial Confirmatorio
ADRC	Centro de Riesgo de Desastres de Asia (por sus siglas en inglés - “Asian Disaster Risk Center”)
AECID	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo
AMOS	Software de SEM de IBM contenido dentro de SPSS
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAPRA	Plataforma de Información sobre Riesgos de Desastres
CCRIF	Mecanismo de Aseguramiento contra Riesgo de Catástrofe en el Caribe (por sus siglas en inglés – “Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility”)
CEPRENAC	Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en Centroamérica
CIC	Consejo Internacional para la Ciencia
CRED	Centro para la Investigación de Epidemiología de Desastres (por sus siglas en inglés – “Centre for Research on Epidemiology of Disasters”)
DARA	Asociación de Investigadores por la Ayuda para el Desarrollo (por sus siglas en inglés – “Development Assistance Research Associates”)
DATA	Sub-grupo de IRDR “Datos de Pérdida por Desastre del CIC” (por sus siglas en Inglés)
DesInventar	Inventario de Desastres, bases de datos de pérdidas por desastre
EIRD	Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (de la ONU) (Actualmente Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo - UNISDR)
EM-DAT	Base de datos de desastres globales (de CRED)
ERN	Evaluación de Riesgos Naturales- América Latina (consultores)
GAR	Informe de Evaluación Global del EIRD (por sus siglas en Inglés - “Global Assessment Report”)
GLIDE	Identificador Numérico Global de Desastre (por sus siglas en Inglés - “Global Disaster Identifier Number”)
GRD	Gestión del Riesgo de Desastres
GRID	Base de datos para recursos de información global (por sus siglas en inglés – “Global Resource Information Database”)
HVRI	Instituto de Investigación en Amenazas y Vulnerabilidad de EEUU (por sus siglas en inglés – “Hazard and Vulnerability Research Institute”),

IBM	Compañía de lucro; Por sus siglas en inglés – “International Business Machines”
ICCRR	Indicador de Condiciones y Capacidades para la Reducción de Riesgo de las agencias DARA/AECID
IDD	Índice de Déficit por Desastre de IDEA/BID
IIASA	Instituto Internacional para Análisis de Sistemas Aplicados
IIRD	Investigación Integrada sobre Riesgo de Desastres del CIC
IPCC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (por sus siglas en Inglés - “Intergovernmental Panel for Climate Change)
LDI	Indicador Local de Desastres (por sus siglas en inglés - “Local Disaster Index”)
MAH	Marco de Acción de Hyogo
NGDC	Centro Nacional de Datos Geofísicos del EEUU (por sus siglas en inglés – “National Geophysical Data Center”)
NOAA	Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica del EEUU (por sus siglas en inglés – “National Oceanographic and Atmospheric Administration”)
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio
ONG	Organismo No Gubernamental
ONU	Organización de Naciones Unidas
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PREVIEW	Modelo SIG de amenaza y exposición de PNUMA/EIRD
PVI	Indicador de Vulnerabilidad Prevalente (por sus siglas en inglés - “Prevalent Vulnerability Index”)
RMI	Indicador de Gestión de Riesgo de IDEA/BID (por sus siglas en Inglés)
RRD	Reducción del Riesgo de Desastre
SEM	Modelos de Ecuaciones Estructurales (por sus siglas en Inglés - “Structural Equation Models”)
SHELDUS	Base de datos de pérdidas por desastre del HRVI para los EEUU (por sus siglas en inglés)
SoVI	Indicador de Vulnerabilidad Social del HRVI (por sus siglas en inglés – “Social Vulnerability Index”)
WDI	Indicadores de Desarrollo del Banco Mundial (por sus siglas en inglés – “World Bank Development Indicators”)



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Christopher Mark Lavell, con cédula de identidad Pasaporte US 530410264, en mi condición de autor del TFG titulado Relaciones Empíricas entre Desarrollo y Desastre

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kervá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.



FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kervá.

I. Introducción

A. Prefacio: ¿Qué, por qué, cómo?

[DE DESASTRE, A RIESGO, A DESARROLLO] Desde los años 1980 la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) trata de distanciarse del paradigma establecido, la gestión basada en la respuesta al desastre, y busca centrarse más en la reducción de los riesgos existentes, antes de que se actualicen en un desastre. Más recientemente, algunos practicantes de la GRD han ido más allá de este paradigma de reducción de riesgos, para centrarse en los patrones de desarrollo humano y en cómo poder evitar la construcción, en primera instancia, de tales riesgos al influir en la manera de concebir y poner en práctica el desarrollo.

[DESARROLLO Y RIESGO SOCIAL] En general, el principal impedimento para este cambio de enfoque reside en la falta de "visibilidad" del problema del riesgo de desastres. Es decir, a menos que se pueda hacer más tangible, más cuantificable y más comprensible la acumulación de riesgo latente para el público en general y para los tomadores de decisiones en particular, la sociedad seguirá lidiando con la aceptación del problema de fondo y en hacerle frente adecuadamente a las fuentes del riesgo de desastres.

[LA VISIBILIDAD DEL RIESGO] Durante un desastre, tanto el problema como las intervenciones realizadas son visibles, y los análisis costo-beneficio para las inversiones a largo plazo suelen ser lanzados por la ventana frente a la comprensible urgencia inmediata, salvar vidas y medios de vida, y además, prevenir que la crisis no empeore. Durante las épocas de normalidad, el recuerdo del desastre tiende con el tiempo a desaparecer, y se vuelve más difícil justificar la asignación de los usualmente escasos recursos, hacia la prevención o mitigación de dichos riesgos. Esto se debe en muchos casos, al peso que tienen los típicos e innumerables intereses hacia el desarrollo que suelen ser mucho más "visibles", se perciben como de mayor prioridad entre los tomadores de decisiones o el público. Por lo tanto, es más fácil perpetuar soluciones cuantificables para un ciclo de corto plazo que para un ciclo de largo plazo, donde la solución es más racional, por lo tanto, más sostenible. Esto es debido a lo que podría ser considerado principalmente un problema de

información y educación hacia cómo proteger mejor “lo que no se puede perder”, como el lector de este trabajo, David Smith, suele decir.

[LA CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO] Al mejorar la cuantificación del riesgo de desastre y la comprensión de los procesos sesgados de desarrollo que impulsan su acumulación, la GRD espera justificar empíricamente las intervenciones, utilizando herramientas y datos que muestran los resultados en un formato más comparable que los típicos indicadores cuantitativos usados comúnmente por tomadores de decisiones. Un ejemplo de este interés en las métricas es el creciente uso de Análisis Costo-Beneficio (ACB) para medir y priorizar tanto los programas de la GRD sociales como los de infraestructura. Con esta evidencia "visible" en la mano, los tomadores de decisiones pueden decidir más fácilmente entre los costos y beneficios de los diferentes modos de ejecución de la GRD y el desarrollo.

[OBJETIVOS DE DESARROLLO DEL MILENIO Y EL MARCO DE ACCIÓN DE HYOGO] Una relación clave que se ha tratado de hacer más visible, es la que existe entre los Objetivos de Desarrollo del Milenio (2013), el Marco de Acción de Hyogo (MAH) (EIRD, 2005), y el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015). Esto se relaciona especialmente con la unión entre el cuarto pilar del MAH, *abordar las causas subyacentes del riesgo de desastres*, y el papel que desempeña el desarrollo en la construcción del riesgo. En esencia, estos marcos internacionales proponen una serie de rutas para alcanzar un desarrollo más sostenible y para reducir la acumulación del riesgo de desastres. Sin embargo, hay poca evidencia para apoyar o rechazar las guías propuestas. Uno de los objetivos de este proyecto es examinar esta supuesta relación a partir de datos empíricos. Los tomadores de decisiones necesitan sustancialmente más evidencia con el fin de realmente “comprar la idea” y lograr estos objetivos.

[INTENTOS DE CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO] En los últimos años se han tomado diferentes enfoques para cuantificar mejor los riesgos de desastre. Varios modelos probabilísticos de evaluación del riesgo de desastre se han desarrollado en la última década por la investigación o grupos consultores (como el ERN del CAPRA (Cardona et al, 2006) y

el Modelo de Riesgo Global PREVIEW de PNUMA/EIRD (Dilley et al, 2005), grandes organizaciones de seguros (como Munich RE, CCRIF, etc.), Modeladores de Catástrofe (“Cat modelers”, en inglés, como RMS, EqueCat y Willis) (Kunreuther, 2006). Por otra parte, varios proyectos de indicadores de gestión de riesgo como el DRI del PNUD, los Indicadores de Riesgo de Desastre y Gestión del Riesgo del BID/IDEA (IDEA et al., 2012), el Hyogo Monitor en el Informe de Evaluación Global (GAR) de EIRD (EIRD, 2011, 2013), el Indicador de Condiciones y Capacidades para Reducción del Riesgo del AECID/DARA (Lavell et al., 2010, el indicador de la ONG Views from the Frontline en su informe “Clouds but little rain” (GNDR, 2009), y otros grupos relacionados con la sociedad civil, han buscado mejores formas de cuantificar el riesgo de desastre a través de la medición de lo que se denomina “factores subyacentes del riesgo” (por ejemplo, factores del ambiente, sociales, económicos, uso de suelos y gobernabilidad) (EIRD, 2005; Sendai, 2015). Modelos para amenazas específicas han estado en desarrollo durante muchos años, sustentándose en la mejora del registro de eventos, el incremento del poder computacional y técnicas de modelización que han llegado a altos niveles de robustez. Los elementos de exposición y vulnerabilidad han sido los que más ha costado establecer, y todavía necesitan continua mejora. Proyectos integradores globales como el GAR de la EIRD de las Naciones Unidas y IRDR del ICSU están buscando crear un modelo que unifique mejor los varios componentes que constituyen el riesgo de desastre. Para el GAR 2015, ya se habían desarrollado modelos multi-evento, multi-exposición y multi-vulnerabilidad que pueden cuantificar el riesgo a nivel global y a un nivel bajo de resolución, y así representar una mejor imagen del complejo problema de riesgo de desastre en el mundo.

[SIN PRUEBA CAUSAL AÚN] Todos estos proyectos cuentan con herramientas que impulsan diferentes áreas del discurso, con el fin de cuantificar mejor los riesgos de desastre. Las técnicas estadísticas y actuariales se han utilizado en los datos de pérdida por desastre, y los indicadores se han construido en torno a las variables causales de las que se sospecha como impulsoras de la exposición, y, en particular, en torno a los componentes de vulnerabilidad de la ecuación del riesgo de desastres. Sin embargo, no se ha intentado hasta ahora probar un modelo que integre las variables causales de amenaza, exposición y

vulnerabilidad con los datos de pérdida por desastre, y que determine qué tan bien encajan los fundamentos conceptuales del enfoque moderno de la GRD con la realidad, como se han expresado en los números.

[PROPUESTA DE PRUEBA CAUSAL] En este documento, se propone diseñar, construir y probar varios modelos que puedan ayudar a comprobar una relación causal entre el desarrollo y los desastres. Esto se logra mediante la modelización de los datos empíricos disponibles y el aprovechamiento de los recientes avances en estadística, econometría y las herramientas de modelización de sistemas. Para lograr esto se propone la modelización, por una parte, de los datos históricos de pérdida por desastre, y por la otra, de los indicadores históricos relacionados con el desarrollo. Estos datos se corren por modelos, utilizando las herramientas que permiten poner a prueba datos empíricos contra los modelos conceptuales, y por lo tanto, tratan de explicar algunas de las relaciones causales entre los procesos de desarrollo y el riesgo de desastres.

[HERRAMIENTAS DE MODELACIÓN CAUSAL] Con el fin de lograr esto, se agregan los datos de varias fuentes, incluyendo bases de datos sobre pérdidas a nivel mundial y nacional, y varios conjuntos de indicadores relevantes para establecer conceptos latentes exógenos que influyen en el riesgo. Los datos fueron procesados mediante Modelos de Ecuaciones Estructurales (SEM, por sus siglas en inglés – ‘Structural Equation Modeling’) que pueden ser utilizados para establecer relaciones causales entre factores latentes "no observables" (es decir, construcciones como "vulnerabilidad", "exposición" y "riesgo" que no pueden ser medidas directamente). En el futuro, pero fuera del contexto de este trabajo, se tiene la intención de utilizar las Redes Bayesianas y los Modelos de Dinámica de Sistemas (para explorar los modelos causales que mejor se adapten a los datos). Es decir, este tipo de estudio podría ser ampliado con otras técnicas cuando la recopilación y preparación de datos no domine muchos de los recursos disponibles. Estas tres metodologías requieren un modelo conceptual que se pueda asignar a los diferentes componentes semánticos de la metodología probabilística particular que se está utilizando, para así permitir el cálculo de su exactitud predictiva usando el conjunto de datos establecidos. Mediante el uso de varios

modelos conceptuales de desastres, riesgo y desarrollo pre-construidos desde la opinión de expertos, asignados en el entorno de modelización de las diferentes metodologías, se espera que algún día se pueda comparar los resultados de estos modelos conceptuales contra los datos de pérdida por desastre observados, para determinar su poder de predicción y, por lo tanto, la fidelidad de la representación de la realidad a partir de una perspectiva probabilística.

[CONJUNTO DE DATOS] Se ha creado una única base de datos sobre desastres, los conductores de riesgo subyacentes y los datos demográficos que todos los diferentes modelos usados en este proyecto utilizaron, para determinar qué tan bien los modelos se ajustan a los datos. Es decir, los modelos conceptuales son mapeados dentro de SEM como modelos causales, y SEM mide hasta qué punto los datos sobre pérdidas encajan con lo que predice el modelo. Hay varios beneficios clave en este enfoque. En primer lugar, el marco para las pruebas de estos modelos puede ser utilizado en el futuro por distintos o más refinados modelos. En segundo lugar, mediante el uso de los datos multitemporales, es posible crear estudios longitudinales en los que podemos validar primero, y luego predecir, el cambio promedio de las pérdidas por desastres futuros basados en intervenciones específicas. En tercer lugar, mediante el uso de los mismos datos, las diferentes metodologías de modelización deben producir resultados similares. Las diferencias deben ser explicables debido a la idiosincrasia de cada una de las metodologías particulares. Si esto no es así, se pueden explorar las razones por las que los modelos particulares no pudieron evaluar el riesgo adecuadamente. En cuarto lugar, el conjunto de datos puede ser utilizado por otros investigadores, lo que les permite construir modelos rápidamente sin el trabajo de generar un nuevo conjunto de datos y proveyendo capacidad comparativa de los resultados. En quinto lugar, el establecimiento de "constantes" sociales dentro de estos modelos, será más valioso si los análisis posteriores se basan en los mismos datos. Y sexto, el uso de un conjunto común de datos proporciona una plataforma para la confirmación independiente o la refutación de los resultados obtenidos por otros investigadores. Hasta este punto, el establecer una base de datos común fue un útil experimento utilizado para fines de este proyecto, pero entre agencias internacionales hay

una creciente tendencia hacia la necesidad de establecer un “almacén de datos” que permite modelarlos dimensionalmente y disponer de ellos de una forma más sencilla para desarrollar estudios.

[CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO SOCIAL Y RESILIENCIA] El objetivo final de este proyecto es aumentar la conciencia de los riesgos que afectan a nivel social, para que puedan ser manejados teniendo en cuenta los procesos que los crean en primera instancia. El concepto de resiliencia implica disponer de recursos suficientes para "recuperarse" de un desastre mayor. Sin embargo, los recursos naturales se están agotando a un ritmo acelerado, y en algún momento podría haber insuficiente "capital natural" desde el cual recuperarse de un desastre de gran magnitud con consecuencias globales.

[PARTE DE UN ENFOQUE MÁS GRANDE] Este proyecto sirve como un paso más en un proceso que puede ayudar eventualmente a llegar a una aceptación común de modelos causales explicativos del continuum del desarrollo de desastres. Hay mucho trabajo todavía por hacer antes de que se pueda decir que se ha cuantificado adecuadamente tanto el riesgo social como otras formas específicas del desastre. Existe la necesidad de establecer "constantes sociales", desarrollar indicadores y conjuntos de datos sólidos, así como de elaborar teorías conceptuales más profundas y perspicaces que se puedan probar mediante el uso de modelos probabilísticos. En la medida en que este conjunto de herramientas de análisis del riesgo se vuelva más robusto, inevitablemente se podrá producir resultados más fácilmente aplicables, tales como nuevas técnicas de modelización y pronóstico.

B. Descripción del proyecto

[PROYECTO EIRD] Este proyecto construye una valiosa aportación en la cuantificación del riesgo de desastres a nivel mundial, para los Informes de Evaluación Global (GAR) de la Estrategia Internacional para Reducción de Riesgo (EIRD) 2013 y 2015 de las Naciones Unidas. La investigación ha evolucionado y se ha extendido en un proyecto de tesis para la Maestría en Gestión del Riesgo de Desastres de la Universidad de Costa Rica en San José,

Costa Rica. El tema central de este proyecto se relaciona con el establecimiento de una relación empírica entre los desastres y el desarrollo, con base en el uso de herramientas cuantitativas formuladas por diferentes disciplinas académicas y profesionales, especialmente la estadística, matemática, ciencias actuariales, econometría y las finanzas, que puede arrojar más luz sobre el tema del riesgo de desastres. En concreto, se ha tratado de desarrollar un modelo que pueda fundamentar una relación causal entre los indicadores de desarrollo, y los datos cuantitativos disponibles relacionados con las pérdidas por desastre.

[INDICADORES COMPUESTOS Y VALIDACIÓN] Este proyecto de tesis se deriva y extiende desde el trabajo previo del autor en este campo. El trabajo de consultoría realizado para DARA y la AECID (Lavell et. Al, 2010; EIRD, 2011) que se relacionó con el cálculo de un Índice de Reducción del Riesgo, fue parte integral en el avance de la comprensión del autor en la elaboración de modelos de indicadores compuestos del riesgo. En otro proyecto, los datos del riesgo de desastres manifestados son analizados, utilizando diversas metodologías y publicado en el capítulo #5 del Estado de la Región (CEPREDENAC, 2010), un informe universitario independiente basado en las tendencias de desarrollo de Centroamérica; así como para la EIRD (EIRD, 2011). Hay otros varios proyectos de evaluación de indicadores y del riesgo en curso, en todo el mundo, y todos estos proyectos, en cierta medida, implican cuantificar los componentes del riesgo por medio de indicadores u otros modelos estadísticos. Sin embargo, lo que queda por fuera comúnmente en muchos de estos enfoques es comprobar qué tan bien el indicador o modelo funciona con datos del mundo real, y por lo tanto, que tan bien predice condiciones en el mundo real.

[USO DE SALIDAS] El producto final se ha producido para ser aplicado por los organismos, gobiernos y otras entidades y personas que puedan utilizar la información cuantitativa para establecer soluciones para problemas de desarrollo y riesgo de desastre. Una vez que las relaciones entre el desarrollo y el riesgo de desastres están sólidamente establecidas, proyectos para la reducción de la construcción del riesgo pueden considerarse dentro de un escenario costo/beneficio más completo. Estos pueden ser, por ejemplo, mostrar el

valor de inversiones sociales, en contraposición a las inversiones de infraestructura más convencionales, que normalmente reciben la mayor parte de los fondos de prevención/mitigación.

[DIFERENCIAS CON OTROS INTENTOS] Las principales diferencias entre este proyecto y otros proyectos similares que han tratado de cuantificar los riesgos de desastre son: 1. El uso de un modelo causal de inferencia que une los desastres, los riesgos de desastre y sus controladores subyacentes, basados en el desarrollo, en un modelo único; 2. Creación de una metodología para la transformación/normalización del conjunto de datos que permite el uso de diferentes técnicas de modelización sobre los datos mismos, por lo tanto, brinda resultados comparables; 3. El dimensionamiento del riesgo en términos de intensidad y la amplitud frente a la noción de los riesgos intensivos y extensivos; 4. Un enfoque comprensible que requiere el análisis y la cuantificación del riesgo total, es decir, no sólo de los componentes que se adaptan fácilmente a sí mismos para la medición.

C. Hipótesis

[HIPÓTESIS] Es posible construir un modelo causal que relaciona empíricamente los procesos de desarrollo con la incidencia de los desastres. Este modelo puede ayudar a explicar esta relación de una manera que a la vez sea práctica y extensible, que permitirá comparar el nivel, modalidad y la configuración del riesgo de desastres en diferentes lugares, y que, dentro de un cierto margen, permitirá modelar los efectos de las prácticas de gestión del desarrollo.

[APLICACIÓN PRÁCTICA] Con el fin de establecer relaciones causales comprobables, se ha apoyado principalmente en Modelos de Ecuaciones Estructurales (MEE, o SEM por sus siglas en inglés), para construir varios modelos causales basados en conceptos contemporáneos del riesgo de desastres y que luego se ponen a prueba con datos empíricos. Usando estos modelos, se es entonces capaz de analizar el desarrollo y datos sobre desastres, en forma tanto transversal como longitudinal, para los aproximadamente 200 países de los que se tienen suficientes datos. Los resultados de estos modelos son

luego aplicados en una serie de estudios de caso para probar su compatibilidad y aplicabilidad en escenarios del mundo real. En el futuro, se espera que estos conjuntos de datos y los modelos SEM se analizarán utilizando Redes Bayesianas y Modelos de Dinámica de Sistemas, con el fin de afinar, validar y explorar otras implicaciones (esto está claramente fuera del alcance de este proyecto).

D. Objetivos

1. Objetivo principal

[CONSTRUIR Y VALIDAR MODELOS CAUSALES] Construir y estadísticamente comprobar modelos conceptuales del riesgo de desastres por su grado de "ajuste" con los datos empíricos disponibles, usando inferencia causal y herramientas de modelización de sistemas, con el fin de comprender mejor las relaciones causales entre desarrollo y el riesgo de desastres y, entre los diferentes conductores del riesgo en un nivel nacional, por países y regiones.

2. Objetivos específicos

[REVISIÓN DE LA LITERATURA] Revisar posibles modelos conceptuales sobre la relación entre desarrollo y desastres, basada en la literatura de cuantificación del riesgo de desastres existente, junto con información sobre la implementación de Modelos de Ecuaciones Estructurales (SEM).

[CREAR UNA BASE DE DATOS] Crear una base de datos exógenos sobre variables de desarrollo, datos endógenos sobre variables de pérdidas por desastres y datos demográficos necesarios para la modelación de variables latentes en los modelos conceptuales de desarrollo y desastres. Identificar y validar la transformación, la imputación, la normalización, etc., necesaria de los datos, a fin de hacer posible su utilización por los entornos de modelización.

[GENERAR MODELOS CAUSALES] Generar modelos causales sobre la relación entre el desarrollo y el riesgo de desastres, utilizando las variables latentes establecidas por la base de datos, para validar con SEM el nivel de "encaje" que cada modelo tiene con los datos empíricos sobre pérdidas por desastres, es decir, qué tan bien cada modelo conceptual puede predecir las relaciones causales entre desarrollo y desastre en el mundo real. Evaluar los resultados mediante varios estudios de caso en la región de América Latina, para probar su compatibilidad y aplicabilidad en escenarios del mundo real.

E. Metodología

[NATURALEZA MULTIDISCIPLINARIA DEL PROYECTO] Este proyecto se inspira en gran medida en un cruce de disciplinas que busca maximizar el uso de los conocimientos, técnicas y procesos que ya han sido desarrollados en un dominio específico, aplicando estos en otros ámbitos que podrían beneficiarse de esta innovación. Por lo tanto, el proyecto refleja el carácter multidisciplinario de las técnicas que están disponibles en la actualidad y las posibles formas en que los diferentes dominios de conocimiento pueden ser integrados para lograr los objetivos del proyecto. Por otra parte, la metodología empleada en este proyecto toma prestado por un lado, la teoría crítica (Kant, 1792, 1878; Adams y Searle, 1986; Adams, 1992, la semiótica (Peirce, 1901, en Butler, 1940), la filosofía de la ciencia (Popper, 1934; Khun, 1970) y la antropología (Hoffman & Smith, 2002), y por el otro lado la ingeniería en sistemas (Stermann, 2000, 2006), los sistemas de modelización (Pearl, 2000, 2009, 2011), y la estadística tanto clásica como Bayesiana (Brooks, 1995; Freedman, 2010).

[DESARROLLO, DESASTRES, CAUSALIDAD] Este proyecto gira en torno a dos conceptos (desarrollo y desastres) y otro tipo de relación entre ellos (causalidad). Para hacer malabares adecuadamente con estos tres elementos, primero se revisa y sistematiza la literatura existente sobre estos tres ámbitos temáticos. Se presentan los resultados de esta investigación en los capítulos dos a cuatro. A continuación, con base en esta investigación, se procede a construir y validar varios modelos causales con la mayor posibilidad de establecer una relación empírica entre el desarrollo y los desastres.

[RIESGO DE DESASTRES Y SU CUANTIFICACIÓN] Para ser más específicos, en primer lugar, se hace una breve revisión de la evolución reciente de los conceptos de GRD para que los lectores de otras disciplinas puedan estar al día con la terminología aceptada y los modelos conceptuales (capítulo II). A continuación, se repasan los últimos avances en la cuantificación del riesgo de desastres, con el fin de evaluar las fortalezas, debilidades y ventajas de los diferentes enfoques (capítulo III).

[CAUSALIDAD Y CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO] En la transición hacia los más estrictos campos de la estadística cuantitativa, los sistemas de modelización y la econometría, se procede al examen breve de los métodos cuantitativos más relevantes, y más específicamente causales, que son aplicables a los fines del riesgo de desastres y de desarrollo (capítulo IV). Dado que es un conjunto muy específico de técnicas que pueden, dentro de ciertos límites, establecer la inferencia causal, se revisan tres de éstos, con especial énfasis en Modelos de Ecuaciones Estructurales (SEM).

[DESARROLLO Y DATOS DE DESASTRE] Una vez que estos tres ámbitos de conocimiento han sido adecuadamente comprendidos, se procede a construir y validar varios modelos, utilizando los modelos conceptuales del nexo riesgo de desastres/desarrollo, más aceptados. Sin embargo, con el fin de probar estos modelos, lo primero que se requiere es una base de datos integrada que contenga gran cantidad de datos de desarrollo, de pérdida por desastre, y datos demográficos multitemporales. En general, se han recogido una buena cantidad de datos a nivel nacional y un subconjunto limitado de datos subnacionales. Se define un esquema de datos, los datos se han programado, validado, transformado, o normalizado como fuese necesario para que sean comparables dentro de los diferentes entornos de las modelizaciones que se utilizaron (capítulo V).

[LIMITACIONES DE DATOS Y MODELACIÓN] Este proyecto se basa en datos recolectados, ajustados y modelados durante la primera instancia de este proyecto de tesis, en el 2010, y por esto cubre un rango de datos desde el 1970 hasta el 2010. Es importante notar que la recolección de datos y la modelación no se repitieron para esta segunda instancia de la

tesis como lo importante es la documentación de este primer intento en validar relaciones causales entre desarrollo y desastre.

[CRITERIOS DE MODELAJE] Con el fin de construir modelos en el entorno de modelización causal seleccionado, es necesario en primer lugar determinar los criterios para la asignación de las relaciones de causalidad entre los procesos de desarrollo y el riesgo de desastres. Con este criterio establecido, entonces recurrimos a cómo puede este mapa conceptual ser probado por su grado de "ajuste" (Popper, 1934) o concordancia (Peirce, en Butler, 1940) con datos empíricos disponibles. Como siempre ocurre con los proyectos complejos, innumerables pequeñas y medianas decisiones, son a la vez inevitables y necesarias para la aplicación efectiva de los modelos, y cada una de estas decisiones (inclusive la decisión de no hacer nada) podría tener un efecto sobre los resultados. Por lo tanto, hay que hacer lo más explícito posible el proceso y los criterios de la toma de decisiones para resolver muchos de estos "problemas técnicos" y "errores" que inevitablemente se deben resolver, con el fin de obtener resultados útiles.

[EXPLICITAR LAS FUENTES DE SESGO] Se ha abordado el problema con respecto a criterios de modelización, mediante el establecimiento de un marco conceptual que asume la responsabilidad de proporcionar una justificación a priori para la mayoría de estas decisiones. Es decir, la mayoría de proyectos llevan consigo sesgos heredados de sus autores, normas culturales, etc., sobre todo en los ámbitos de conocimiento menos cuantificables, como las ciencias sociales. Debido al alto nivel de incertidumbre con respecto a las causas del desarrollo que generan el riesgo de desastres y combinadas con las fuentes de sesgo antes mencionadas, es muy importante que se intenten hacer explícitos, en la medida de lo posible, estos sesgos y los resultados que se basan en ellos, para que el lector pueda ser capaz de interpretar mejor los resultados. Por lo tanto, antes de proceder con la construcción y validación de los modelos, se describe el marco conceptual utilizado, con un énfasis particular en los sesgos y decisiones subjetivas que, de alguna manera, han contribuido a los resultados (capítulo V).

[EL DESARROLLO COMO CAUSA DE DESASTRES] Se prueban varios modelos que utilizan los conjuntos de datos a nivel nacional, para determinar hasta qué punto es posible comprobar qué procesos de desarrollo generan riesgo de desastres. Los modelos de Análisis Factorial Confirmatorio (AFC) (ver anexo D para detalles de estos modelos) son contruidos para probar varios de los supuestos comunes entre elementos individuales del riesgo de desastres y la ecuación del desarrollo. Los modelos de factores que mejor se ajustaron, se utilizaron para probar varios de los bloques de construcción para los modelos causales más complejos. Las Modelos de Ecuaciones Estructurales se construyeron a partir de los resultados de las pruebas de análisis factorial. Estos modelos causales se validaron, utilizando los beneficios de las medidas de ajuste que determinan la cercanía de los resultados modelados a los resultados observados en la realidad, de una manera tal que expresan cuantitativamente tanto la fuerza como la naturaleza de la relación entre el desarrollo y el desastre, según lo expresado por los modelos causales (capítulo VI).

[CONTROL DE CALIDAD Y CASO DE ESTUDIO] Con el fin de asegurar que los resultados de la modelización y los ejercicios de validación sean lo más precisos y útiles posibles, se llevan a cabo, varios procesos en la revisión y control de calidad de los datos, así como en su aplicación en el mundo real, utilizando varios estudios de caso. Los estudios de caso seleccionados son basados en un país de bajo, medio y alto desarrollo de América Latina. Esto se hace con el fin de demostrar la capacidad descriptiva del modelo y proponer posibles intervenciones que podrían reducir el riesgo al menor costo (capítulo VII).

[SÍNTESIS] Se concluye este proyecto de investigación mediante la revisión de los hallazgos más sobresalientes y los resultados de los ejercicios de modelización. Además, se proporcionan recomendaciones y se proponen posibles medidas futuras que se pueden considerar con el fin de aumentar aún más la resolución y la capacidad predictiva de los modelos causales probabilísticos.

F. Contenido y Estructura

A fin de presentar el material de la manera más didáctica posible, se ha estructurado este documento poniendo en relieve los diferentes campos de investigación, así como sus relaciones, antes de proceder a la construcción de los modelos empíricos. Por otra parte, los estudios de caso y el resumen se han construido para aprovechar las aplicaciones prácticas de este proyecto, poniendo en relieve las relaciones entre los modelos, sus resultados y la realidad. Por lo tanto, este documento se estructura de la siguiente forma:

- I. **Introducción** (este capítulo). Presenta el tema, hipótesis, objetivos y metodología.

- II. **Evolución de la Teoría del Riesgo de Desastres.** El segundo capítulo analiza la terminología, definiciones y conceptos que forman el núcleo de la teoría de la gestión del riesgo de desastres más moderna. En primer lugar, cubre las definiciones cualitativas y cuantitativas actuales de los conceptos clave del riesgo de desastres. Entonces, basado en estas definiciones, y colocándolas en el contexto histórico del desarrollo del tema de riesgo de desastres, se encuentra un campo de investigación que busca las causas subyacentes de estos desastres. Esto es a diferencia de los factores físicos o naturales ya existentes que desencadenan los desastres sociales. Termina este capítulo con una discusión de los principales modelos conceptuales que explican el nexo desastre – desarrollo.

- III. **Cuantificación de riesgos y desarrollo.** El tercer capítulo analiza los proyectos recientes para cuantificar el riesgo de desastre, así como las herramientas más comunes para cuantificar el desarrollo per se. Se cubren las principales áreas de desarrollo, desde los indicadores de vulnerabilidad hasta los modelos de riesgo, así como los más recientes intentos integradores para relacionar los diferentes componentes en un modelo de riesgo global. Termina este capítulo con una discusión de los principales avances, así como los problemas más

importantes que actualmente se enfrentan para la consecución de este objetivo.

- IV. **Importancia de las relaciones causales.** Mientras que gran parte del capítulo III está dedicado a la descripción de herramientas estadísticas, econométricas, de SIG y actuariales que se encuentran actualmente en uso en la rúbrica del riesgo de desastres, el capítulo IV se enfoca en el estado de algunas de las herramientas cuantitativas, y en concreto, las metodologías para el establecimiento de inferencia causal entre los elementos modelados. Con el fin de hacer esto, primero se revisan algunos de los conceptos básicos detrás de las estadísticas pertinentes, seguido de una elaboración sobre la evolución de la inferencia causal probabilística como una sub-disciplina que se extiende de la estadística, la econometría, la psicología y las ciencias de la computación. Termina este capítulo con una introducción a las tres metodologías más pertinentes para el logro de inferencia causal: los Modelos de Ecuaciones Estructurales (SEM), las Redes Bayesianas y los Modelos de Dinámica de Sistemas.
- V. **La construcción de modelos empíricos.** En este capítulo se emplea una metodología propia para la construcción de los modelos empíricos, y específicamente los causales, del continuum del desarrollo de desastres. Se considera en primer lugar el marco conceptual, así como las fortalezas, debilidades y limitaciones de los distintos enfoques intentados. A continuación, se consideran los datos disponibles, así como los métodos utilizados para prepararlos para un uso genérico en cualquiera de los modelos que se construyen y prueban. Se termina este capítulo con un análisis de las implicaciones y cuestiones teóricas y prácticas con respecto a la metodología de construcción del modelo elegido.

- VI. **Validación de los modelos empíricos.** En este capítulo se describen los modelos construidos y se presentan sus resultados validados. Empieza primero con los modelos no causales de análisis de factores de confirmación que tratan de explicar los componentes individuales que constituyen los modelos causales más grandes, como son las variables latentes de vulnerabilidad, gobernanza, etc. A continuación, se procede a probar los modelos causales mediante SEM. Por último, se tienen los modelos causales probados y se utilizan herramientas de exploración para profundizar en las implicaciones del modelo validado (s), con el fin de establecer posibles intervenciones y los resultados modelados de dichas intervenciones.
- VII. **Estudios de caso.** En este capítulo se revisa un ejemplo por país de un nivel bajo y alto de desarrollo en las Américas, en el contexto de los resultados de los modelos empíricos. Aquí se prueba tanto la aplicabilidad de los resultados cuantitativos del proyecto en el mundo real, así como determinar qué tan bien describen los modelos las condiciones actuales.
- VIII. **Conclusiones y recomendaciones.** En este capítulo se resumen las principales conclusiones y recomendaciones que se han establecido en cada uno de los capítulos individuales. Luego, se dan las recomendaciones para el uso, interpretación y modelización de datos y resultados. Termina con una breve mención de los próximos pasos a seguir en la cuantificación del riesgo de desastres y los procesos de desarrollo, con el fin de lograr mejores resultados, más fuertes y predictivos a medida que se avanza.
- IX. **Referencias.** Esta sección contiene todas las referencias citadas en este documento. También hay un anexo a las referencias que contiene un listado más completo de textos consultados en la investigación que podrá ser de uso para otros investigadores en este tema.

- X. **Anexos.** Información detallada sobre la construcción y validación del conjunto de datos, así como los modelos empíricos y causales se incluyen aquí.

II. Teoría del Riesgo de Desastres

A. Introducción

Un enfoque antiguo pero ampliamente dominante, es el que a grandes rasgos se puede decir que viene desde la defensa civil, y que ha tomado prestados tanto el concepto como la práctica de la defensa militar. Históricamente, este enfoque es el que se ha utilizado para tratar las situaciones de desastre. En estos enfoques, la atención principal se centra en la gestión del desastre como tal, con poca consideración hacia las causas concomitantes, especialmente las causas de carácter social, que crearon en primera instancia el riesgo que antecede al desastre. La Gestión del Riesgo de Desastres surgió como un campo de estudio y práctica en las últimas décadas, tratando de definirse a sí misma como la gestión de los riesgos que llevan a los desastres, en lugar de gestionar el desastre en sí mismo (Wisner et al, 1977, 2005, O'Keefe, Westgate y Wisner, 1976; Pelling y Maskrey, 2004; Hewitt, 1997, 2007; Lavell y Franco, 1996; Lavell, 1996, 2002). Además, en la última década ha surgido un consenso internacional con respecto a la relación entre el desarrollo, los conductores latentes del riesgo y el riesgo de desastres (Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) (ONU, 2013), Marco de Acción de Hyogo (MAH) (EIRD, 2005), Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) (Lavell et al., 2012)).

Sin embargo, una desconexión importante aún existe con respecto a los métodos apropiados para reducir (o simplemente para mantener en control) el riesgo de desastres, por lo que diferentes escuelas de pensamiento, con diferentes planteamientos y enfoques, se han desarrollado en el mundo. En general, los enfoques de la reducción de riesgos han sido atados a modelos conceptuales de cómo se construye el riesgo. El uso de este soporte conceptual constituye una buena parte de la teoría actual del riesgo de desastres.

Los expertos en esta materia, han recientemente empezado a insistir en la importancia de incorporar la gestión de riesgo de desastres en las prácticas del desarrollo y la gobernabilidad. Es decir, integrar los principios y las prácticas de gestión del riesgo directamente en las agencias y las agendas relacionadas con el desarrollo, a fin de impedir

la construcción del riesgo en primera instancia. Sin embargo, la incorporación de conceptos del riesgo de desastres en las prácticas del desarrollo requiere de un respaldo probatorio de la teoría. Esto, con el fin de obtener aceptación por parte de los actores relevantes de la GRD, los tomadores de decisiones y los que controlan los recursos disponibles, que son quienes más pueden reducir los niveles de riesgo de desastres.

A pesar de que sin duda existen muchos más proyectos regionales, nacionales y de escala más local, debido a la experiencia del autor, este trabajo se centrará en los enfoques de los que fácilmente se dispone de la comunidad internacional, así como en los esfuerzos ya realizados específicamente en América Latina y el Caribe.

A lo largo de las décadas de 1980 y 1990, durante el período de definición paradigmática de este campo, se dio lugar a varios modelos conceptuales del riesgo de desastre, y se centró el análisis en torno a las nociones de amenaza, exposición y vulnerabilidad. Estos han servido de base para diversos intentos para mejorar la cuantificación del riesgo de desastres en la última década (Quarantelli, 1986, 1998; Bankoff, 2004; Birkmann, 2007; Cardona, 2005; EIRD, 2011, 2013). Las herramientas cuantitativas más utilizadas son las bases de datos del EM-DAT del CRED (OFDA/CRED, 2011), las bases de datos de desastres a nivel nacional DesInventar (s.f), el DRI (PNUD, 2004), el sistema de indicadores del IDEA / BID (Cardona, 2005), el modelo ERN/BID de CAPRA (Central American Probabilistic Risk Assessment) (ERN-AL, 2011), el monitor HFA de la UNISDR (EIRD 2009, 2011), el ICCRR de DARA / AECID (Laell Et al, 2010), y el Modelo de Riesgo Global de la EIRD utilizados en los GARs del 2009 y 2011 (EIRD 2009, 2011),.

Un hilo conductor común de estas diferentes escuelas de pensamiento es la cada vez mayor convicción de que el riesgo de desastres está estrechamente ligado a los procesos del desarrollo, a través de los cuales se "construye" el riesgo latente de un potencial desastre. Es decir, el riesgo de desastres es un residuo de los procesos de desarrollo sesgados que contribuyen a la degradación de ambientes naturales, a los bajos niveles socio-económicos, a las prácticas peligrosas de uso del suelo, a la falta de infraestructura, a la

gobernanza ineficaz. Es un conjunto de riesgos latentes que se establecen aquí y allá, acumulándose a la espera de un disparador, por lo general, un evento natural como un huracán o un terremoto. Es decir, eventos naturales no son desastres en sí. El desastre es humano.

B. Definiciones

1. Definiciones básicas

Definiciones de la Organización Internacional de Estándares (International Standards Organization - ISO) (ISO 31000, 2007):

"Riesgo- efecto de la incertidumbre sobre los objetivos"

"Gestión del Riesgo- aplicación de métodos lógicos y sistemáticos para:

- *La comunicación y la consulta en todo el proceso;*
- *Establecer el contexto de la organización para la identificación, análisis, evaluación, tratamiento y seguimiento de los riesgos asociados con cualquier actividad, producto, función o proceso, e*
- *Informar adecuadamente los resultados."*

Las siguientes son definiciones comúnmente aceptadas para términos del vocabulario estándar del riesgo de desastres (UNISDR, 2009b):

- **"Gestión correctiva del riesgo de desastres.** *Actividades de gestión que tratan de identificar y corregir o reducir los riesgos de desastres que ya están presentes.*
- **Riesgo de Desastres.** *Las pérdidas potenciales por desastres, en vidas, estado de salud, medios de vida, bienes y servicios, lo que podría ocurrir a una comunidad o una sociedad a través de un período de tiempo futuro especificado.*

- **Gestión del riesgo de desastres.** *El proceso sistemático de utilizar directrices administrativas, organizaciones y las habilidades y capacidades operativas, para poner en práctica las estrategias, las políticas y la mejora de las capacidades, con el fin de reducir los impactos adversos de las amenazas y la posibilidad de un desastre.*
- **Reducción del riesgo de desastres.** *El concepto y la práctica de la reducción de riesgo de desastres, mediante esfuerzos sistemáticos para analizar y gestionar los factores causales de los desastres, incluso mediante la reducción de la exposición a los riesgos, disminución de la vulnerabilidad de las personas y la propiedad, la gestión racional de la tierra y el ambiente, y la mejora en la preparación ante eventos adversos.*
- **Exposición.** *Las personas, bienes, sistemas u otros elementos presentes en las zonas de riesgo, que son por ello sujeto a las potenciales pérdidas.*
- **Amenaza.** *Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede causar la pérdida de vidas, lesiones u otros impactos a la salud, daños materiales, pérdida de medios de vida y servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.*
- **Riesgo extensivo.** *El riesgo ampliamente distribuido asociado a la exposición de las poblaciones dispersas a repetidas o persistentes condiciones de riesgo.*
- **Riesgo intensivo.** *El riesgo asociado a la exposición de grandes concentraciones de personas y actividades económicas a eventos de amenaza intensos, que pueden conducir a potenciales desastres catastróficos que implican una elevada mortalidad y la pérdida de bienes.*
- **Mitigación.** *La disminución o limitación de los impactos adversos de las amenazas y los desastres relacionados.*
- **Peligro natural.** *Proceso o fenómeno natural que puede causar la pérdida de vidas, lesiones u otros impactos a la salud, daños materiales, pérdida de*

medios de vida y servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

- **Prevención.** *La evasión absoluta de los impactos adversos de las amenazas y los desastres relacionados.*
- **Gestión prospectiva del riesgo de desastres.** *Actividades que indican y tratan de evitar el desarrollo de nuevos o mayores riesgos de desastres.*
- **Resiliencia.** *La habilidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos de un evento en un momento oportuno y eficiente, incluso a través de la conservación y restauración de sus estructuras y funciones básicas.*
- **Riesgo.** *Combinación de la probabilidad de un suceso y sus consecuencias negativas.*
- **Gestión del riesgo.** *Enfoque sistemático y práctico de la gestión de la incertidumbre para minimizar daños y pérdidas potenciales.*
- **Transferencia de riesgo.** *El proceso de formalmente o informalmente transferir las consecuencias financieras de riesgos específicos de una persona o grupo a otra persona o grupo.*
- **Desarrollo sostenible.** *Desarrollo que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.*
- **Vulnerabilidad.** *Las características y circunstancias de una comunidad, sistema o bien, que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza".*

2. Terminología adicional

La mayoría de las definiciones utilizadas en este documento se derivan de las disciplinas estándar de desastre, riesgo y afines, y se basan en las definiciones comúnmente aceptadas

para el vocabulario estándar del riesgo de desastres (UNISDR 2009b), de la terminología de gestión de riesgos (ISO, 2009), y la terminología específica de la RRD para la adaptación al cambio climático en el informe SREX del IPCC (Lavell et al., 2012). Por razones de brevedad, estas definiciones no se enumeran aquí, pero se incluyen en el anexo correspondiente.

Se incluye con fines informativos varios términos adicionales que están estrechamente relacionados con el tema, y que se utilizan comúnmente en las disciplinas dedicadas al manejo de datos, estadísticas y la modelización (UNISDR, 2009b):

"Sesgo - Una estadística está sesgada si se calcula de una manera tal, que es sistemáticamente diferente del parámetro de la población de interés.

Causalidad - Es la relación entre un evento (la causa) y un segundo evento (el efecto), donde el segundo caso se entiende como una consecuencia de la primera.

Correlación - En la estadística, la dependencia que se refiere a cualquier relación estadística entre dos variables aleatorias o dos conjuntos de datos. Correlación se refiere a cualquiera, de un amplio rango de relaciones estadísticas, que implican dependencia.

Determinismo - Una filosofía que indica que por todo lo que sucede hay condiciones dadas, que establecen que nada más podría suceder.

Distribución - En la teoría de la probabilidad, una probabilidad en masa, una densidad de probabilidad, o distribución de la probabilidad es una función que describe la probabilidad de una variable aleatoria tomando ciertos valores.

Error - Un error estadístico es la cantidad por la cual la observación difiere de su valor esperado, este último basado en toda la población de la que fue elegida la unidad estadística al azar.

Aleatorio - En probabilidad y estadística, una variable estocástica o variable aleatoria es una variable cuyo valor está sujeto a variaciones debido al azar.

Estocástico - Un sistema cuyo comportamiento es intrínsecamente no - determinista, esporádico y categóricamente NO intermitente."

III. Cuantificación de riesgo y desarrollo

A. Introducción

Un paso importante en la evolución de cualquier ciencia es la transición de un enfoque meramente cualitativo, a un enfoque de integración entre lo cualitativo y lo cuantitativo, posibilitando que los resultados casuísticos y modelos conceptuales se pueden validar con el rigor de la estadística. Está ampliamente reconocido que las metodologías cuantitativas están muy limitadas debido a su intensiva necesidad de datos: tal calidad y cantidad de datos simplemente no existe para pérdidas por desastre, sobre todo para los valores atípicos de eventos con largos periodos de retorno. Por lo tanto, lo que se busca es una mezcla de la innovación en RRD basada en lo local, difundida hacia arriba a través de estudios de caso y al mismo tiempo un enfoque de alto nivel, pero granular.

Clave en este proceso es la noción de vulnerabilidad. En términos del conocimiento común aceptado, la ecuación del riesgo que consiste en amenaza, exposición y vulnerabilidad, se ha convertido en un estándar de-facto en la comunidad de la RRD. Sin embargo, a diferencia de la amenaza y la exposición, la vulnerabilidad es extremadamente difícil de definir, cuantificar, medir o analizar. En este proyecto, tomamos el enfoque reduccionista que ya ha sido iniciado por otros (Wisner, et al. 2005; Cardona, 2005; Banco Mundial, 2006, 2010; Peduzzi, 2004, 2006), acerca de tomar la vulnerabilidad como el inverso de la ecuación de riesgo:

$$\text{Riesgo} = \text{vulnerabilidad} * \text{amenaza} * \text{exposición}$$

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{riesgo} / (\text{amenaza} * \text{exposición})$$

En otras palabras, si se controlan los niveles de riesgo y de exposición, el riesgo manifiesto puede ser utilizado como un indicador de la vulnerabilidad. De esta manera, la vulnerabilidad se cuantifica como la suma de todas las fuentes desconocidas de error y sesgo en el cálculo del riesgo que no se explican por los niveles de amenaza y la exposición.

Sin embargo, el cálculo no es tan sencillo como parece: hay un alto grado de incertidumbre en los datos sobre amenaza, exposición y riesgo. Por otra parte, la falta de granularidad combinada con la escala, hace difícil alcanzar cualquier certeza estadística. Es así como lo que sería ideal, pero casi imposible de lograr: datos locales de alta calidad de un largo período de tiempo en una base de datos global (algo similar a la calidad y cantidad de datos producidos en una prueba de drogas controlada y aleatoria).

Con el grado de incertidumbre que la ecuación de riesgo pone sobre la mesa, luego se tiene que enfrentar el hecho de integrarla con la parte del desarrollo en la ecuación. Los primeros intentos se centraron en el uso de datos macroeconómicos en combinación con datos históricos de pérdida, para establecer indicadores de lo que podría denominarse vulnerabilidad macroeconómica (Cardona, 2012). Esta es la vulnerabilidad intrínseca que el país enfrenta en su intento de recuperarse fiscalmente de un desastre a gran escala. Intentos más recientes utilizan una amplia gama de indicadores del desarrollo para la construcción de indicadores multi-nivel, basados en los modelos conceptuales de los expertos (Lavell et al., 2010).

Las partes interesadas provienen de una amplia gama de disciplinas, desde el enfoque de la administración pública y las políticas públicas de reducción de desastres, hasta el área de seguros y el lucro que involucra la modelización y pronóstico, las grandes empresas y gobierno. Abajo se revisan algunas de las principales partes interesadas, los sistemas públicos, las bases de datos, así como herramientas de modelización y de análisis que se centran en la interpretación de los datos de pérdida por desastre, en combinación con variables de desarrollo.

B. “Stakeholders” (partes interesadas)

La siguiente sección fue elaborada por el autor en base a un análisis exhaustivo de las organizaciones, modelos y bases de datos disponibles para cuantificar pérdidas por desastres.

1. Instituciones de investigación

a. ICSU – IRDR DATA, RIA

El grupo de trabajo de la Investigación Integrada sobre Riesgo de Desastres (IIRD) del Consejo Internacional para la Ciencia (CIC), busca investigar desastres desde varias perspectivas. El sub-grupo de Interpretación del Riesgo y Acción (RIA) busca entender cómo actúan los tomadores de decisión y los tomadores de decisión de la ciudadanía, ya sea individual o colectivamente, cuando enfrentan diferentes tipos de riesgo. El sub-grupo de Datos de Pérdida por Desastre (DATA) trata de determinar qué tipos de datos y de qué calidad se necesitan para mejorar el uso de los datos de pérdida por desastres. Su objetivo es minimizar la incertidumbre en los datos de pérdida y su utilización, al reunir a las partes interesadas relevantes.

b. ONU EIRD, PNUMA

La Estrategia Internacional para la Reducción del Riesgo de la ONU, publica el Global Assessment Report on Disaster Risk dos veces al año (el último Informe de Evaluación Global -GAR- 2011). Coordina el progreso del MAH con la Plataforma Global para la Reducción del Riesgo. Colabora en PREVIEW, un SIG global de modelización de amenaza, exposición y riesgo utilizado en el GAR 2009 y 2011 y generado por PNUMA en colaboración con la Estrategia Internacional para la Reducción del Riesgo (EIRD).

c. CRED

El Centro para la Investigación en la Epidemiología del Desastre (CRED), Université Catholique de Louvain en Bruselas, Bélgica, mantiene la base de datos global a nivel nacional EM-DAT.

d. HVRI

El Instituto de Investigación en Amenazas y Vulnerabilidad (HRVI, por sus siglas en inglés), mantiene el SHELDUS (“Spatial Hazard Events and Losses Database for the United States”), la base de datos sobre pérdidas por desastre para los Estados Unidos. Esta base de datos contiene uno de los más altos niveles de fidelidad de datos y rigor metodológico en la entrada de datos, lo que la hace un buen referente y recurso, para que bases de datos en otros países puedan mejorar sus metodologías. El HRVI también produce el Indicador de Vulnerabilidad SoVI, que ha sido generado para los años 2000 y 2005-9.

e. IDEA / IDB / ERN

Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), Universidad Nacional de Colombia, Consorcio Evaluación de Riesgos Naturales (ERN), quienes desarrollan herramientas de cuantificación de datos como el Sistema de Indicadores de Riesgo de Desastres, CAPRA y Curvas Híbridas de Riesgo.

f. IIASA

El Instituto Internacional para Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA), ubicado en Luxemburgo, Austria, ha desarrollado varios modelos para ayudar a tomadores de decisiones a considerar su riesgo financiero. Este instituto desarrolló el modelo CATSIM (CATastrophe SIMulation) para medir la “brecha financiera” y mide el costo para el país de desastres de diferentes magnitudes utilizando un modelo estocástico.

g. La Red

Organización latinoamericana de académicos y analistas políticos que desde el principio identificaron la necesidad de ver los desastres como construcciones sociales. Dieron el impulso al desarrollo de la base de datos sobre pérdidas por desastre DesInventar, enfocada en satisfacer la necesidad de contar con datos de pérdidas por desastres más granulares a nivel local.

h. ADRC

El Centro de Reducción de Desastres de Asia (ADRC) desarrolla y mantiene los datos sobre pérdidas por desastres en el continente asiático. El proyecto “Global Disaster Identifier Number” (GLIDE, por sus siglas en inglés), un proyecto que estandariza la catalogación de desastres, ha sido adoptado por la comunidad global para asegurar que no haya doble medición de desastres.

i. CEPAL

Comisión Económica para América Latina y El Caribe (Economic Commission for Latin America and the Caribbean -ECLAC). Desarrollaron uno de los primeros modelos para medir pérdidas económicas en desastres en su “Manual para la Estimación de Efectos Socio-económicos y Ambientales de los Desastres” (“Handbook for Estimating the Socio-economic and Environmental Effects of Disasters”), publicado por las Naciones Unidas y el Banco Mundial (*ECLAC, 2003*). Un aspecto relevante de esta metodología es que estableció criterios para estimar no solo las pérdidas directas sino también las pérdidas indirectas.

j. GFDRR

El Centro Global Para Reducción y Recuperación frente a Desastres del Banco Mundial (“World Bank Global Facility for Disaster Reduction & Recovery” – GFDRR por sus siglas en inglés) se enfoca en hacer estudios para proveer fondos a proyectos de GRD, para lo cual utiliza modelos derivados de modelos de riesgo financiero utilizados por los bancos.

k. Corporación OSSO

Observatorio Sismológico del Sur Occidente (OSSO), Colombia. Organización de investigación científica involucrada en el desarrollo de la base de datos sobre pérdidas a nivel nacional, DesInventar. Estas bases de datos, actualmente levantadas para más de 20 países, son especialmente útiles para el análisis del riesgo extensivo / intensivo.

I. CHRR

El Centro para Investigación de Amenazas y Riesgo (“Center for Hazards & Risk Research - CHRR) de la Universidad de Columbia en EEUU, ha desarrollado varios importantes proyectos en el análisis del riesgo de desastre.

i. NSC

El Consejo Nacional de Ciencia (NSC, por sus siglas en inglés - “National Science Council”) del gobierno de EEUU comisionó un comité específicamente para la elaboración de un estudio sobre el tema de datos y su manipulación. El Comité para el Uso Efectivo de los Datos, Metodologías y Tecnologías fue establecido para estimar poblaciones en riesgo a nivel sub-nacional. Este comité produjo una publicación con el mismo nombre y luego finalizó el proyecto.

j. IRGC

El Consejo Internacional de Gobernanza del Riesgo (IRGC, por sus siglas en inglés - “International Risk Governance Council”) se centra en particular en riesgos emergentes y sistémicos que existen por déficits de gobernanza, y tiene como objetivo ofrecer recomendaciones sobre cómo pueden las autoridades corregir estas deficiencias. Muchos de estos riesgos son complejos, inciertos e incluso ambiguos. En la mayoría de los casos, los posibles beneficios y los riesgos se interconectan.

2. Re-aseguradoras

a. Munich RE

Munich RE tiene varios productos de datos que proveen información de pérdida por desastres. Su base de datos, Globo de Amenazas Naturales (“GLOBUS: Globe of Natural Hazards”) es un SIG para mapear amenazas, desastres y efectos. Esta empresa es reconocida como un referente en el ámbito de compartir información y resultados con sectores públicos y agencias internacionales.

b. Swiss RE

El equipo Sigma, Economic Research and Consulting de la Swiss RE mantiene una base de datos extensa que provee información y servicios de modelización para sus clientes. Forma parte de Swiss Reinsurance Company, Ltd.

3. Proyectos Públicos

a. FEMA HAZUS-MH (EEUU)

La Agencia Federal de Gestión de Emergencias de EEUU (FEMA, por sus siglas en inglés – “Federal Emergency Management Agency”) produce un Sistema de Información Geográfica (SIG) llamado Metodología para Estimación de Pérdidas por Amenazas Naturales (HAZUS-MH por sus siglas en inglés – “Department of Homeland Security’s Loss Estimation Methodology for Natural Hazards”). HAZUS es una metodología estandarizada que se puede aplicar en todos los Estados Unidos y contiene modelos para estimar las pérdidas potenciales de varios tipos de desastres, como terremotos, inundaciones, tornados, y huracanes. HAZUS utiliza la tecnología de SIG para estimar los impactos físicos, económicos y sociales de estos desastres.

b. FEMA NFIP (EEUU)

El Programa Nacional de Seguros de Inundación del FEMA en EEUU (NFIP, por sus siglas en inglés – “National Flood Insurance Program”), provee seguros contra inundación, manejo de zonas de inundación y mapeo de amenazas por inundación a unas 20 000 comunidades a lo largo de los Estados Unidos.

c. CEA (EEUU)

La Agencia de Sismos de California en EEUU (CEA por sus siglas en inglés – “California Earthquake Authority”) es una organización administrada públicamente, financiada en gran parte con fondos privados, que proporciona seguros residenciales contra terremotos y alienta a los californianos a reducir el riesgo de pérdida por este tipo de eventos.

d. CCRIF (Caribe)

Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility (CCRIF) es una corporación financiera cuyos dueños son los países miembros, que se utiliza para agrupar riesgos de pérdida por desastre entre varios países del Caribe y es operada por los gobiernos de sus países miembros. Está diseñada para limitar el impacto financiero de los huracanes y terremotos de los gobiernos del Caribe, al proporcionar liquidez a corto plazo de forma rápida cuando se activa una póliza. Es el primer fondo regional del mundo y, hasta la fecha, el único que utiliza un modelo de seguro paramétrico.

C. Bases de datos

Hay muchos conjuntos de datos que cubren las pérdidas por desastres existentes. Sin embargo, la dificultad reside en encontrar una sola fuente de datos que pueda proporcionar tanto una cobertura extensiva, como nivel de resolución y calidad suficiente. No existe tal base de datos; sin embargo, varias han llegado cerca con diferentes enfoques. Se mencionan brevemente las principales bases de datos para los propósitos de este estudio.

1. Global

a. EM-DAT

La Base de Datos Internacional de OFDA/CRED, administrada por la Universidad Catholique de Louvain en Bruselas, Bélgica (EM-DAT) es la base de datos más grande y más usada en casos de pérdidas por desastres a nivel nacional para todo el mundo. Contiene datos sobre la presencia y efectos de más de 18 000 desastres masivos en el mundo desde 1900 hasta la actualidad. La base de datos es compilada a partir de diversas fuentes, incluidos los organismos de las Naciones Unidas, organizaciones no gubernamentales, las compañías de seguros, instituciones de investigación y agencias de prensa. En general, los conjuntos de datos que se han utilizado inician a partir de 1970, debido a que hay un mucho más bajo nivel de captura de datos sobre pérdidas antes de esa fecha.

b. Munich RE

MUNICH RE cuenta con varios productos de datos que proporcionan información sobre las pérdidas por desastres. NatCatSERVICE cuenta con más de 25 000 entradas de pérdidas por desastres, por lo general proyectadas para ser de alta calidad. Cada año, entre 800 y 1 000 eventos de pérdida se registran y analizan.

2. Nacional

a. DesInventar

DesInventar es una herramienta conceptual y metodológica para la generación de Inventarios Nacionales de Desastres y la construcción de bases de datos de daños, pérdidas y, en general, de los efectos de los desastres. Contiene información sistemática sobre la ocurrencia de desastres de bajo y medio impacto e información desagregada de los efectos de desastres a gran escala.

b. SHELDUS

El Instituto de Investigación en Amenazas y Vulnerabilidad de EEUU (HRVI, por sus siglas en inglés), mantiene el SHELDUS (“Spatial Hazard Events and Losses Database for the United States”), la base de datos sobre pérdidas por desastre para los Estados Unidos. Es la mayor base de datos sobre pérdidas por desastres en los Estados Unidos y contiene información a nivel nacional para una amplia gama de desastres. El acceso detallado al censo de los EUA provee oportunidades únicas para ligar el desarrollo y variables del riesgo de desastre que disponen de una cantidad robusta de datos.

3. Plataformas de datos

a. GLIDE

El proyecto “Global Disaster Identifier Number” (GLIDE, por sus siglas en inglés) es un proyecto iniciado y mantenido por el Centro Asiático de Reducción de Desastres (ADRC) en colaboración con la EIRD, CRED, el PNUD, FICR, la FAO, el Banco Mundial, OFDA / USAID, LA Red y OCHA / ReliefWeb. Una ficha de GLIDE es generada para todos los eventos de desastre, con el objetivo de que se adjunte esa misma ficha a todas las bases de datos que documentan la misma catástrofe, vinculando así las diversas fuentes de información.

b. Prevention Web

Prevention Web sirve a las necesidades de información de la comunidad de reducción del riesgo de desastres, incluyendo el desarrollo de herramientas de intercambio de información para facilitar la colaboración (Prevention Web, 2011). La información sobre el diseño y desarrollo del proyecto, junto con la documentación de referencia, puede ser accedida aquí.

c. GRIP

La Plataforma Global de Información sobre Riesgo (GRIP por sus siglas en inglés – “Global Risk Information Platform”) es una iniciativa de múltiples partes interesadas, incluyendo a la EIRD y PNUMA que se alinean directamente con el área prioritaria 2 del Marco de Acción

de Hyogo (MAH) (EIRD, 2005). Se dedica a la identificación de los riesgos, su evaluación y seguimiento. Aunque organizada por el PNUD, decenas de organizaciones han participado en su elaboración, el diseño y la implementación. El diseño del programa de GRIP refleja la información y el apoyo que necesita la comunidad de la identificación de riesgos.

4. Otros

a. Banco Mundial GEM, WDI

El Banco Mundial mantiene un proyecto llamado GEM (por sus siglas en inglés – “Global Economic Monitor”) y también una extensa serie de Indicadores de Desarrollo Mundial (WDI por sus siglas en inglés), ambos disponibles como datos en línea.

b. Maplecroft Global Risks Atlas

Este atlas de riesgo es un ejemplo de los conjuntos de datos estructurados que mantienen los principales modeladores de catástrofes, así como varios reaseguradores. El Global Risks Atlas ofrece 33 diferentes índices globales de riesgo y mapas agrupados en siete categorías: riesgo macroeconómico, riesgos de seguridad, el riesgo de gobernabilidad, seguridad de los recursos, el cambio climático, pandemias y enfermedades infecciosas, y la resistencia de la sociedad, incluidos los derechos humanos. Análisis más sustanciosos están disponibles a través de los informes por país de Maplecroft. Estos se pueden adaptar a las necesidades del cliente para cualquier país, sector o asunto.

c. CATDAT

Es una base de datos interesante sobre las pérdidas por terremoto, que puede proporcionar varias soluciones para fuentes comunes de modelos sesgados que normalmente no se tratan en el modelo de riesgo de desastres y los procesos de desarrollo que se analizan en este trabajo.

d. Bases de datos de NGDC/NOAA

El NGDC/NOAA de EEUU mantiene un par de bases de datos sobre terremotos y tsunamis: “Significant Earthquakes Database” y “Significant Tsunami Database”, ambos como catálogo de búsqueda en línea.

e. PAGER-CAT

Es un catálogo compuesto de terremotos publicado en 2009 para calibrar modelos mundiales de mortalidad.

f. El Manual Internacional de Ingeniería Sísmica y Sismología

Consiste en una lista de los terremotos mortales en el mundo desde 1500 hasta 2000 compilados por T. Utsu en “El Manual Internacional de Ingeniería Sísmica y Sismología” (Utsu, 2002).

D. Herramientas para el modelado y análisis

En la siguiente sección se revisan las principales fuentes de datos cuantitativos secundarios que se derivan de las pérdidas por desastres, así como las metodologías que permiten tales derivados para ser ensambladas a partir de los datos en bruto. Estas incluyen normas, encuestas, indicadores, herramientas de modelado y herramientas SIG.

1. Encuestas

Las encuestas son medios alternativos para comunicar niveles de riesgo de desastres y están basadas en un conjunto estándar de preguntas que administran a las partes interesadas para estimar los niveles de riesgo, gestión de riesgos, etc. que están presentes en un área determinada.

a. GAR - Monitor del Marco de Acción Hyogo

El Informe de Evaluación Global (GAR) monitor del MAH pretende hacer un seguimiento de los progresos del Marco de Acción Hyogo (EIRD, 2005), mediante la consulta a los distintos

países sobre su progreso, medido en un conjunto de escalas estandarizadas cada dos años. El Monitor es una herramienta en línea de varios niveles, para revisar el progreso regional, nacional y local, facilitado por la UNISDR y liderado por los gobiernos de los países. Los logros en cada indicador central se clasifican en una escala de 1 a 5, donde 1 que representa el logro "menor" y 5 indicando logro "integral", y son publicados como parte del informe GAR.

b. Red Global para Reducción de Desastres –Perspectivas desde la primera línea

La Red Global para Reducción de Desastres (en inglés – “Global Network for Disaster Reduction”) produce un informe, “Perspectivas desde la Primera Línea”, que consiste en un proceso de compromiso multisectorial participativo diseñado para monitorear, revisar e informar sobre los aspectos críticos de "gobernanza local" que se consideran esenciales para la construcción de comunidades resilientes.

c. DARA/AECID Sub-nacional IRR/ICCRR

El componente sub-nacional ICCRR 2010 de DARA/AECID (Lavell et al, 2010), es una herramienta basada en encuestas utilizada para recabar la opinión de los expertos de varios grupos dedicados al riesgo de desastres local, y los campos relacionados, de varias localidades para cada uno de los países analizados. Los resultados de este estudio fueron agregados bajo varias categorías en línea parecidas al modelo a nivel nacional, como se ve en la figura 3.1.

Índice de Condiciones y Capacidades para la Reducción de Riesgo (IRR-ICRR) Composito (Experimental)
 Combina el IRR Nacional (ver hoja F2) con el IRR Sub-nacional (tendencia)

País	a - Degradación ambiental		b - Gestión ambiental		1 - Medio Ambiente y Recursos Naturales				2 - Condiciones Socio-Económicas				3 - Ordenamiento Territorial			4 - Gobernabilidad			RRI Score	RRI - Tendencia (Sub-national)	Percentil Mundial (de 184 países con 60%+ indicadores)	Indicadores disponibles (de 38 en total)	País
	1 - Tendencia (Sub-national)	a - Condiciones sociales	b - Salud	c - Educación	d - Condiciones económicas	2 - Tendencia (Sub-national)	a - Desarrollo urbano	b - Desarrollo rural	c - Infraestructura	3 - Tendencia (Sub-national)	a - Sistema democrático	b - Estado de derecho	c - Eficacia gubernamental	4 - Tendencia (Sub-national)									
Costa Rica	4.5	3.7	4.1	4.1	5.9	8.0	8.1	3.9	6.5	9.4	9.4	4.4	7.7	8.4	6.5	5.9	6.9	6.3	25%	100%	Costa Rica		
Trinidad and Tobago	3.8	1.6	2.7	3.0	6.2	7.8	8.2	5.3	6.9	8.5	9.0	6.4	8.0	7.1	4.9	6.0	6.0	5.9	30%	97%	Trinidad and Tobago		
Panamá	5.2	0.8	3.0	3.0	4.7	6.7	7.6	6.0	6.2	7.8	6.6	5.5	6.6	7.3	5.0	5.8	6.0	5.5	40%	100%	Panamá		
Jamaica	4.1	1.8	3.0	3.0	5.0	7.1	7.9	2.4	5.6	6.8	8.2	7.2	7.4	7.3	4.0	5.4	5.6	5.4	45%	82%	Jamaica		
Cuba	6.4	0.7	3.6	3.6	6.5	8.4	9.9	7.6	8.1	9.1	8.0	4.1	7.1	0.1	4.4	1.8	2.1	5.2	45%	100%	Cuba		
Dominican Republic	5.5	0.6	3.1	3.1	3.9	5.6	6.4	5.7	5.4	8.2	8.0	4.9	7.0	5.9	4.2	3.9	4.7	5.0	50%	100%	Dominican Republic		
El Salvador	3.1	0.5	1.8	1.8	4.0	6.8	7.1	4.7	5.6	7.9	6.5	5.1	6.5	5.7	4.5	5.0	5.1	4.7	60%	100%	El Salvador		
Guatemala	4.5	0.9	2.7	2.7	3.3	5.4	4.4	4.5	4.4	8.0	8.5	5.1	7.2	4.8	3.0	3.9	3.9	4.5	65%	100%	Guatemala		
Honduras	3.5	1.6	2.6	2.6	3.2	6.0	7.5	4.4	5.3	7.2	5.7	4.4	5.8	4.7	3.3	3.6	3.9	4.4	65%	97%	Honduras		
Nicaragua	4.7	1.0	2.8	2.8	4.1	5.2	5.6	2.8	4.4	5.3	3.7	3.9	4.3	5.1	3.3	3.0	3.8	3.8	75%	100%	Nicaragua		
Haiti	3.4	0.1	1.8	1.8	1.5	3.2	3.2	2.4	2.6	1.0	1.7	4.1	2.2	3.5	1.6	1.8	2.3	2.2	100%	95%	Haiti		
Promedio	4.4	1.2	2.8	2.8	4.4	6.4	6.9	4.5	5.5	7.2	6.9	5.0	6.3	5.4	4.1	4.2	4.6	4.8	55%				
Std Dev	1.0	1.0	0.7	0.7	1.5	1.5	1.9	1.6	1.5	2.3	2.4	1.0	1.7	2.3	1.3	1.5	1.5	1.1					

Figura 3.1. Índice de Condiciones y Capacidades para Reducción del Riesgo. Fuente: Lavell, et al., 2010

2. Indicadores

Los indicadores son valores individuales o en serie, que proporcionan sucinta y cuantificablemente, el calibre de una cierta variable. Los siguientes indicadores se centran en el riesgo de desastres, y concretamente en la cuantificación de los niveles de vulnerabilidad, ya que la amenaza y la exposición como componentes en la ecuación de riesgo, se prestan más fácilmente para otras metodologías más detalladas para el cálculo de sus valores. Dado que los indicadores se pueden mostrar fácilmente de forma visual en un mapa con código de color de las áreas cubiertas, hay necesariamente una gran cantidad de superposición entre los indicadores y las herramientas de SIG discutidas en la siguiente sección.

a. IDEA/BID Indicadores de Riesgo de Desastre para las Américas

Los indicadores generados por el proyecto IDEA/BID sobre indicadores de riesgo de desastre para las Américas, buscan cuantificar varios componentes del riesgo de forma comparativa entre los países representados. Los indicadores principales son: Indicador Local de Desastres (“Local Disaster Index” - LDI), Indicador de Vulnerabilidad Prevalente

(“Prevalent Vulnerability Index” - PVI), Indicador de Gestión de Riesgo (“Risk Management Index” - RMI). Se han calculado aproximadamente cada 5 años en los últimos 10 años en alrededor de 15 países de América Latina. Este fue uno de los intentos tempranos de cuantificar el riesgo de desastre utilizando componentes cuantitativos y cualitativos (opinión de expertos) para generar una serie de indicadores.

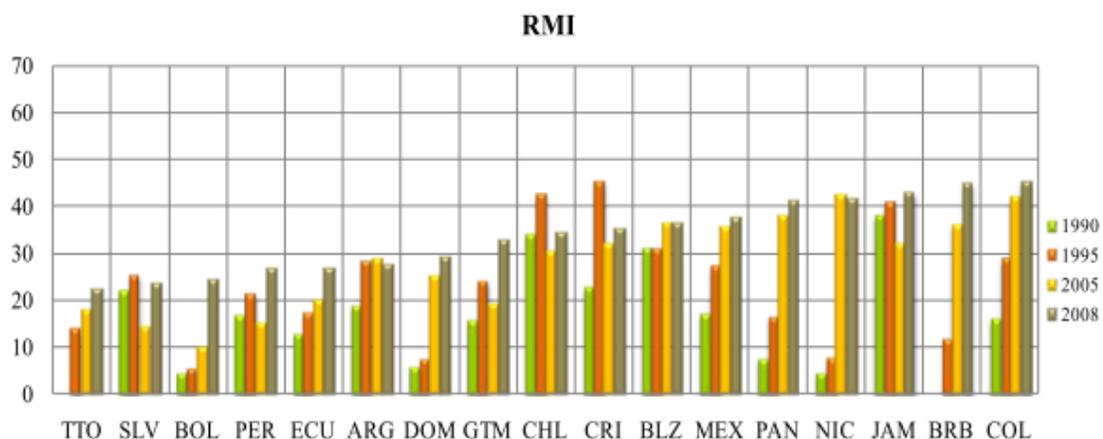


Figura 3.2. Índice de Gestión de Riesgo de Desastre para 17 países en la región LAC.
Fuente: Cardona (2005)

b. UNU-EHS World Risk Index

Fuente de datos UNU-EHS, basadas en PREVIEW Plataforma Global de Datos de Riesgo, CReSIS, CIESIN y bases de datos mundiales. Es impulsado a partir del trabajo de Joern Birkmann sobre índices de vulnerabilidad (Birkmann, 2006, 2007)

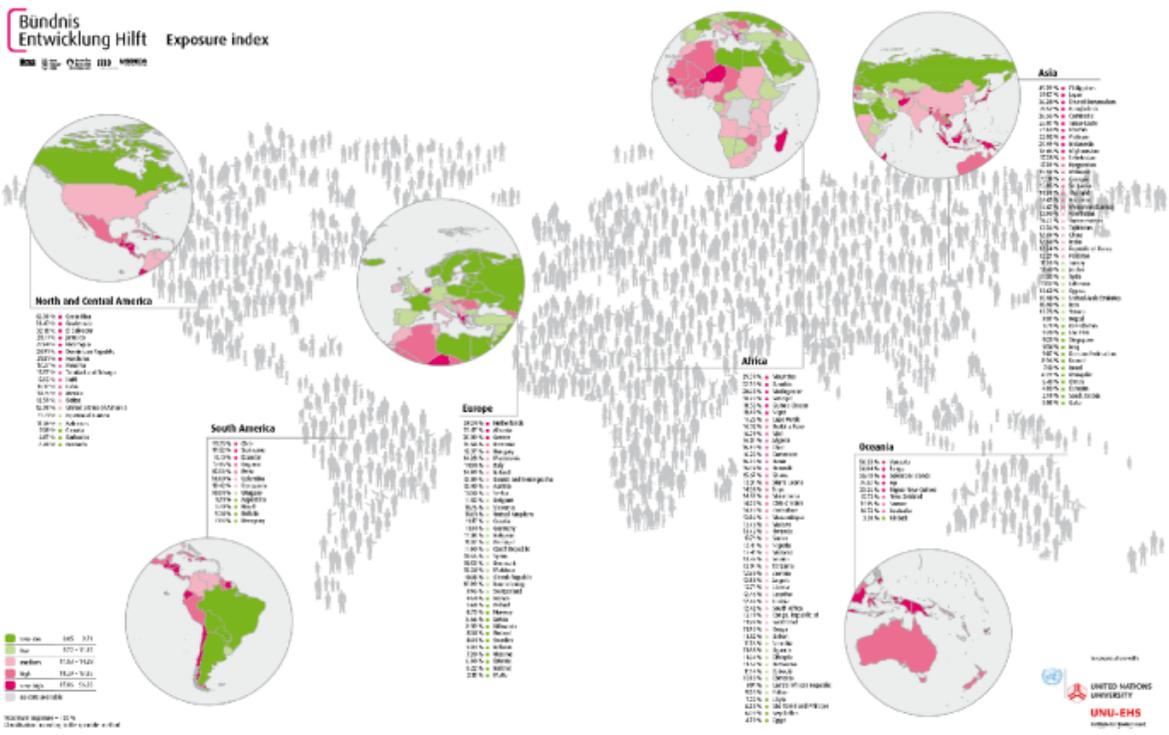
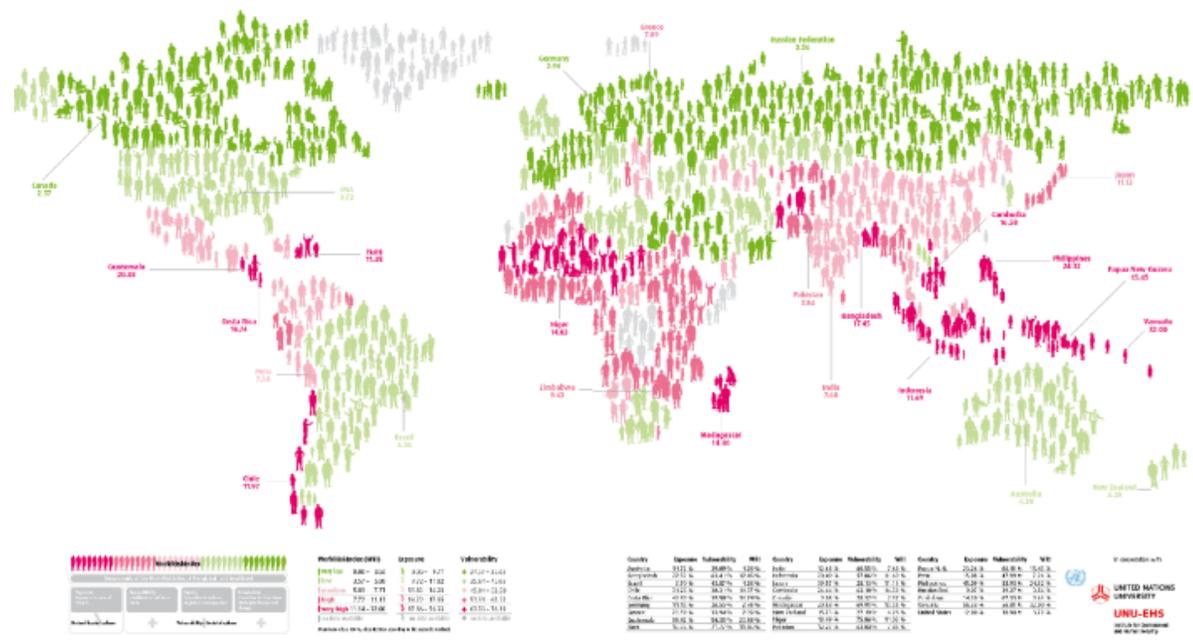


Figura 3.3. Índice de Riesgo Mundial e Índice de Exposición. Fuente World Risk Report, 2013

c. HVRI- Vulnerabilidad Social a Amenazas Ambientales (SoVI)

SoVI 2000 sintetiza entre 32 y 42 variables y la del SOVI 2005-2009 sintetiza 31 variables socioeconómicas de fuentes de datos nacionales de los Estados Unidos, principalmente de la oficina del Censo de EE.UU. Los resultados se basan en los quintiles superior e inferior y son comparados con la muestra nacional o muestra específica de cada estado.

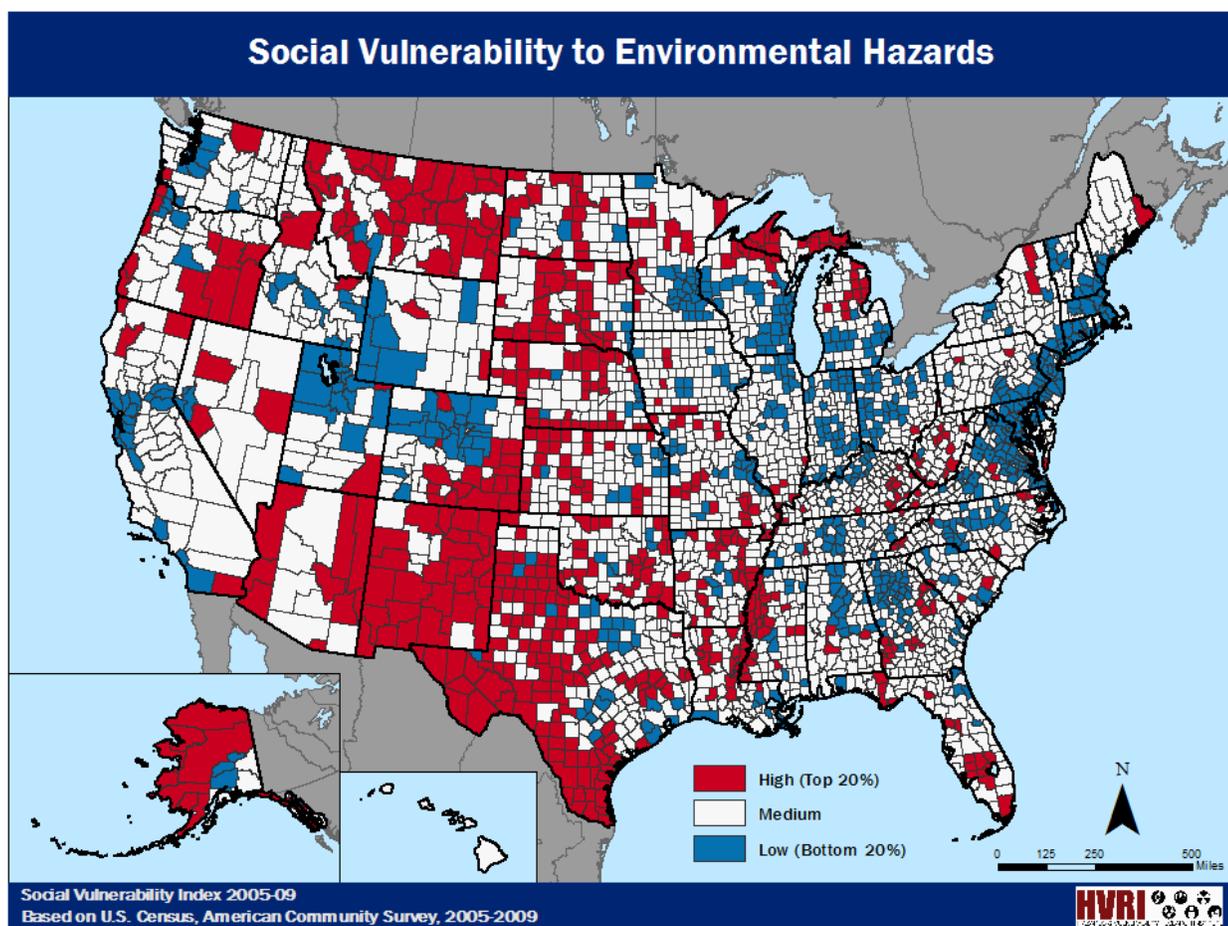


Figura 3.4. SoVI de HVRI para EEUU. Fuente: Cutter et al, 2008.

d. IRR / ICCRR Nacional de DARA / AECID

Indicador de las Condiciones y Capacidades para la Reducción del Riesgo. Componentes principales para establecer el ICCRR: uso de la tierra, condiciones socio-económicas,

ambiente y gobernabilidad. El índice en 2010 cubrió 184 países del mundo. Parte de la modelación de datos utiliza esta fuente, por lo cual se discute más detalladamente en el capítulo sobre la modelación.

Country	1 - Environment and Natural Resources		2 - Socioeconomic Conditions				3 - Land Use Planning			4 - Governance			RRI Score (out of 10)	Available Indicators (out of 38)	Ranking (out of 184 countries with 60%+ indicators)	Top Percentile				
	a - Environmental Degradation	b - Environmental Management	a - Social Conditions	b - Health	c - Education	d - Economic Conditions	a - Urban Development	b - Rural Development	c - Infrastructure	a - Democratic System	Rule of Law	c - Government Efficacy								
Denmark	7.1	5.1	6.1	7.2	9.5	9.1	7.1	8.2	9.9	9.9	8.5	9.4	9.9	9.4	9.9	9.7	8.4	84%	3	0%
Germany	5.6	3.2	4.4	7.7	9.7	5.0	7.7	7.5	9.9	9.9	9.5	9.8	9.4	9.3	8.9	9.2	7.7	87%	13	5%
Japan	6.7	6.1	6.4	6.4	9.7	3.9	8.5	7.1	9.9	9.9	5.2	8.3	8.3	8.4	8.3	8.4	7.5	84%	23	10%
United States of America	5.8	1.0	3.4	5.8	9.1	6.5	6.8	7.1	9.9	9.5	7.5	9.0	8.8	8.5	9.1	8.8	7.1	84%	31	15%
Greece	6.0	2.8	4.4	6.7	9.5	7.1	7.0	7.6	9.9	9.8	6.7	8.8	8.1	6.2	6.6	7.0	6.9	89%	33	15%
Chile	7.6	4.6	6.1	5.1	8.2	7.7	5.4	6.6	9.4	6.5	2.2	6.0	8.4	8.0	8.6	8.3	6.8	100%	38	20%
Costa Rica	4.5	3.7	4.1	5.9	8.0	8.1	3.9	6.5	9.4	9.4	4.4	7.7	8.4	6.5	5.9	6.9	6.3	100%	51	25%
Thailand	3.8	3.2	3.5	6.3	6.9	7.5	6.7	6.9	8.8	9.6	4.9	7.8	3.9	3.7	5.2	4.3	5.6	97%	69	35%
Colombia	7.5	3.1	5.3	3.4	7.1	7.7	5.3	5.9	8.6	6.1	4.2	6.3	4.8	2.9	5.2	4.3	5.4	97%	75	40%
Mexico	5.0	1.7	3.3	5.3	7.8	7.2	5.4	6.4	8.9	6.2	4.9	6.6	5.8	3.8	5.6	5.1	5.4	100%	80	45%
Dominican Republic	5.5	0.6	3.1	3.9	5.6	6.4	5.7	5.4	8.2	8.0	4.9	7.0	5.9	4.2	3.9	4.7	5.0	100%	95	50%
Indonesia	5.0	3.0	4.0	5.6	5.9	7.5	3.5	5.6	6.3	4.5	5.1	5.3	5.1	3.1	4.0	4.1	4.7	100%	110	60%
Venezuela	7.0	1.7	4.4	5.2	7.0	7.4	3.0	5.6	7.7	5.3	4.8	5.9	3.7	1.6	1.6	2.3	4.6	100%	117	65%
Zimbabwe	5.5	9.9	7.7	1.6	2.9	7.3	2.7	3.6	7.5	4.6	3.9	5.3	1.1	0.9	0.5	0.8	4.4	100%	125	70%
Bangladesh	6.2	0.5	3.3	5.4	4.1	4.2	5.3	4.7	3.4	4.8	0.5	2.9	3.8	2.1	2.6	2.8	3.4	100%	152	85%
Haiti	3.4	0.1	1.8	1.5	3.2	3.2	2.4	2.6	1.0	1.7	4.1	2.2	3.5	1.6	1.8	2.3	2.2	95%	182	100%
Afghanistan	3.7	0.8	2.3	4.5	1.1	1.7	4.5	2.9	0.8	1.2	2.6	1.5	1.9	0.3	0.8	1.0	1.9	89%	184	100%

Tabla 3.1: ICCRR de DARA, análisis nacional. Fuente: Lavell et al, 2010)

e. UNEP/SOPAC Environmental Vulnerability Index (EVI)

El UNEP/SOPAC Environmental Vulnerability Index (EVI), o Índice de Vulnerabilidad Ambiental busca proveer información sobre amenazas físicas y vulnerabilidades de diferentes zonas. El proyecto se destaca por producir uno de los primeros “dashboards” en términos de una presentación simple y fácil de leer.

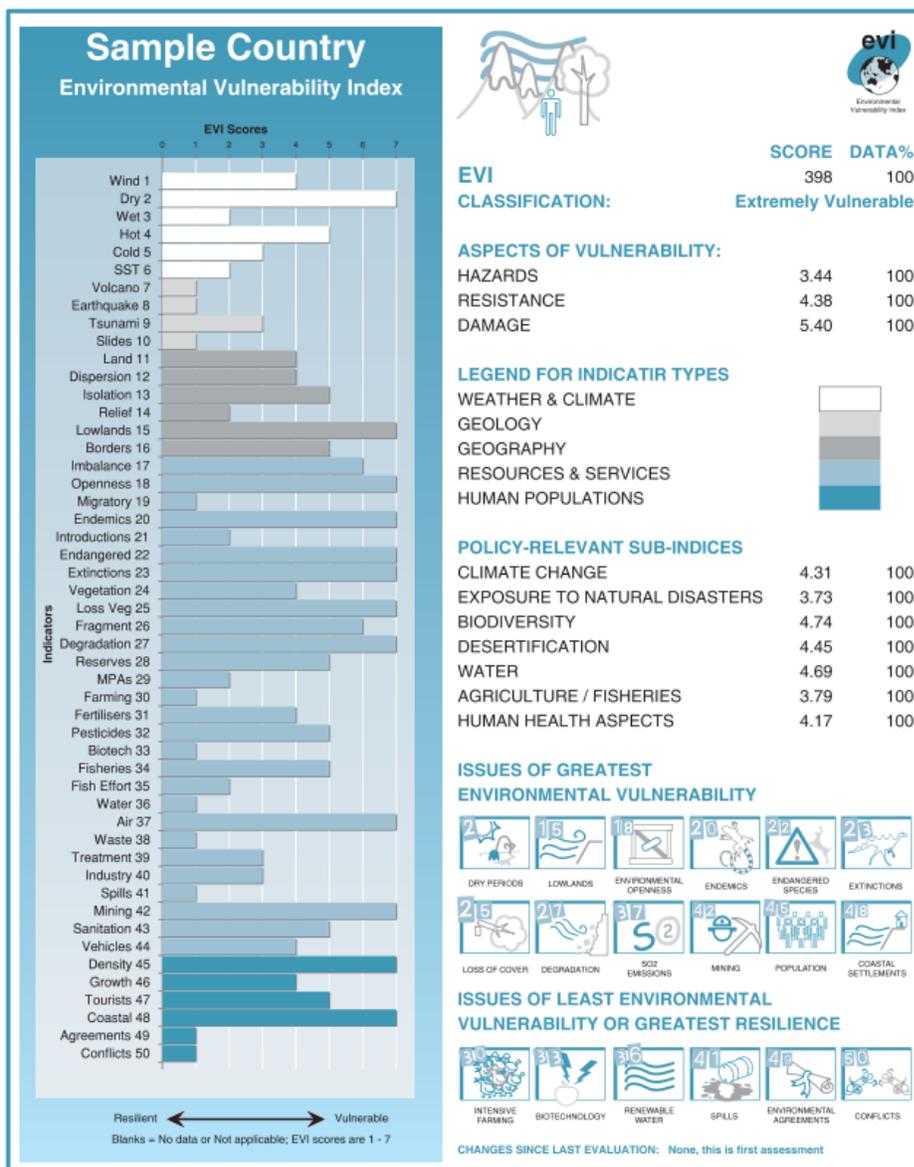


Figura 3.5. UNEP/SOPAC Indicador de vulnerabilidad ambiental. Fuente: SOPAC, 2004.

3. Herramientas de modelado

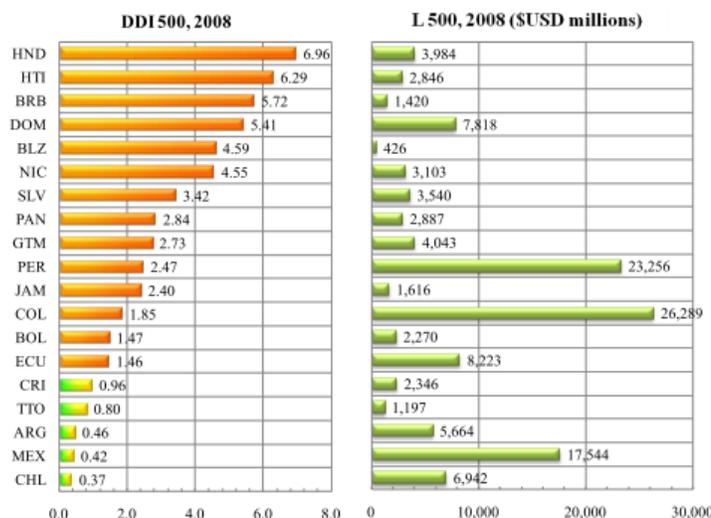
Las siguientes herramientas utilizan modelos matemáticos para crear un producto cuantificable, que se puede utilizar para hacer comparaciones a través del tiempo o entre las unidades estudiadas. Algunos de estos son simples, y se expresan como un valor único, mientras que otros pueden tener varios componentes, involucrar series de tiempo, etc. Todos estos modelos utilizan y producen datos económicos, y en particular, datos

macroeconómicos usados para la planificación de los ministerios de finanzas, en el caso de los modelos del sector público, y de los activos asegurables, en el caso de los modelos del sector privado. Aunque estas herramientas modelan futuras pérdidas económicas en diferentes sectores de la economía, determinar cómo se relacionan sus resultados con los datos históricos de pérdidas económicas, en la mayoría de los casos está aún por establecerse.

En general, la mayor utilización de los datos de pérdidas por desastres la realizan usuarios dedicados a la investigación, usuarios del sector asegurador y políticos responsables. Esto se debe en gran parte al nivel de incertidumbre con que cada actor se siente cómodo trabajando: los investigadores están interesados en definir lo desconocido; los usuarios de seguros desean obtener un beneficio al explotar la incertidumbre y los tomadores de decisiones quieren asegurarse de que sus decisiones se basan en herramientas de evaluación convencionales y seguras.

a. IDEA/BID DDI, DDI'

El IDD (Índice de Déficit por Desastre) y el IDD' (sub-índice para Costo de Capital) son unos de los primeros índices desarrollados para medir el nivel económico de riesgo de desastres por parte del BID e IDEA (Cardona, 2005). El IDD captura la relación entre la demanda de recursos contingentes para cubrir las pérdidas causadas por el Máximo Evento Considerado y la resiliencia económica del sector público (la disponibilidad de fondos internos y externos para restaurar inventarios afectados). El IDD se calcula como sigue:



$$DDI = \frac{MCE \text{ loss}}{Economic \text{ Resilience}}, \quad DDI = \frac{L_R^P}{R_E^P}$$

$$DDI' = \frac{Expected \text{ annual loss}}{Capital \text{ expenditures}}, \quad DDI' = \frac{L_Y^P}{E_C^P}$$

Figura 3.6. Índice de Déficit por Desastre (IDD, o DDI por sus siglas en ingles). Fuente: Cardona & Carreño, 2011.

El modelo básicamente utiliza un cálculo de la máxima pérdida probable posible (en un cierto periodo) dividido por la resiliencia económica del país. Alternativamente, también se calcula una segunda versión del índice utilizando gastos en capital como un dato que se obtiene más fácilmente que el crear un valor sintético para la resiliencia económica.

b. IIASA CATSIM

El modelo muestra los respectivos costos y las consecuencias de las alternativas de financiamiento en indicadores importantes, por ejemplo, el crecimiento económico o de la deuda. El modelo está equipado con una interfaz gráfica que permite al usuario cambiar los parámetros por defecto que definen amenaza, vulnerabilidad y los elementos expuestos. Hay dos módulos: el primero evalúa el riesgo y el segundo ilustra los costos y beneficios de las diferentes estrategias para gestionarlo. Una combinación óptima de

medidas ex-ante y ex-post pueden ser calculadas resolviendo un problema de optimización estocástica sobre múltiples etapas. Es decir, el modelo itera con base en los cambios que producen las estrategias sobre un mediano o largo plazo.

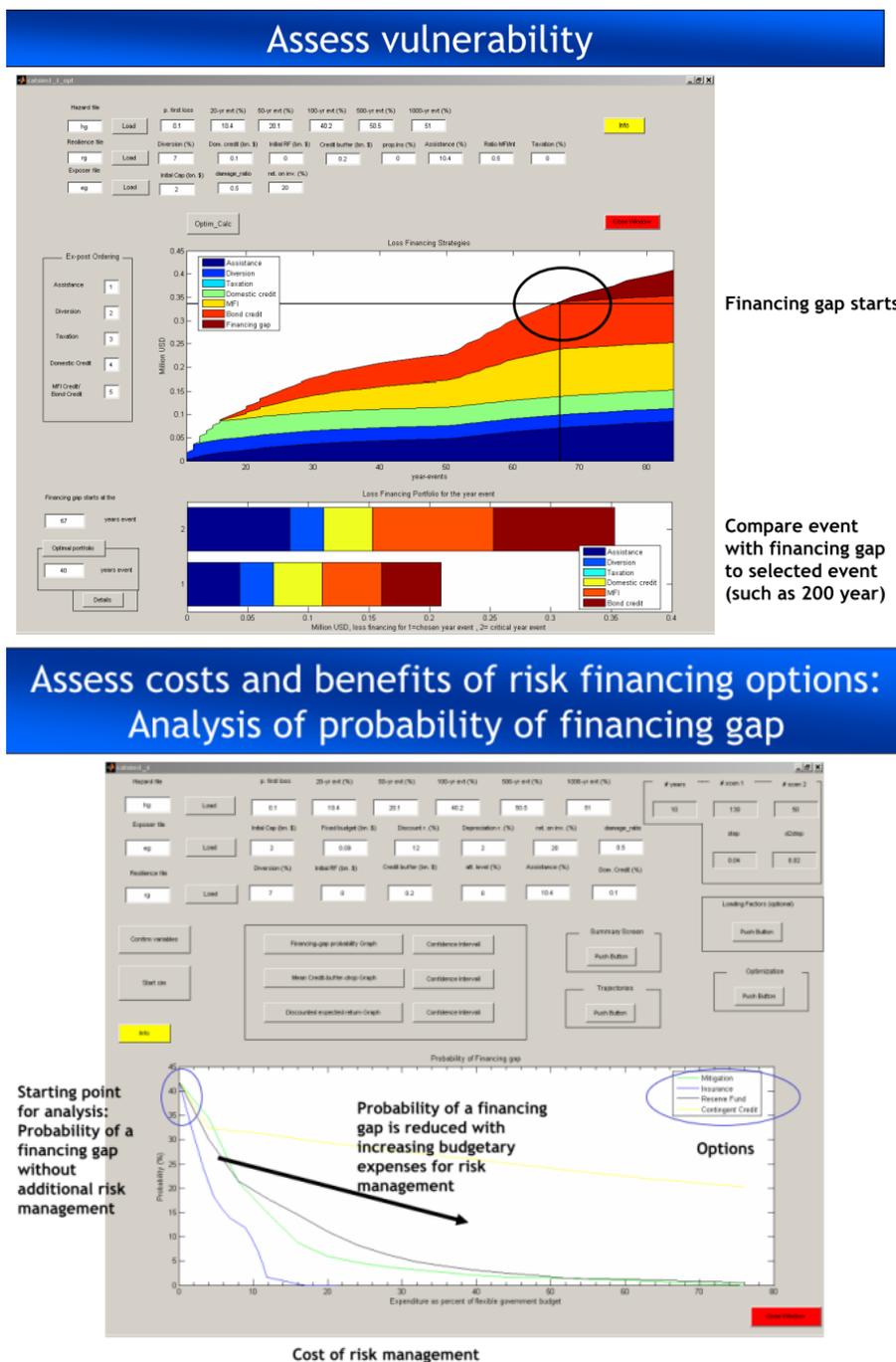


Figura 3.7. Modelación CATSIM de gasto en caso de evento intensivo de IASA. Fuente: Mechler, et al., 2006)

c. IDEA/IDB/ERN Curvas Híbridas de Riesgo

Las curvas por excedencia de pérdida se utilizan normalmente para expresar las pérdidas máximas probables (PMP) que pueden ocurrir en un período determinado, o la probabilidad de que se supere un determinado nivel de pérdida en un período determinado. El modelo de riesgo híbrido se crea mediante la construcción de dos curvas de pérdida por excedencia: una derivada empíricamente a partir de las pérdidas registradas por todas las amenazas a las que un país está expuesto, y el otro se deriva analíticamente para las principales amenazas, como terremotos y ciclones tropicales.

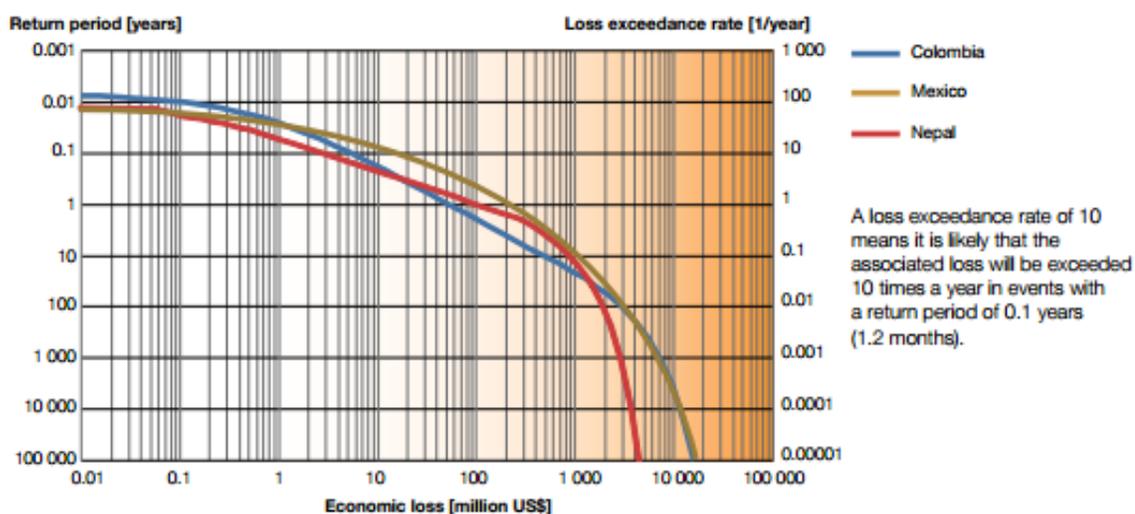


Figura 3.8. Curva híbrida de excedencia de pérdida para Colombia, México y Nepal. Fuente: ERN-AL, 2011 in p.103-5 UNISDR 2011.

La curva por excedencia de pérdida empírica se construye mediante la asignación de valores monetarios a las pérdidas registradas en las bases de datos nacionales, por todos los riesgos por desastre relacionados con el clima y la geología, aplicando parámetros utilizados en las evaluaciones del impacto de desastres. Los modelos de curvas de pérdidas máximas probables resultan en un periodo de retorno de aproximadamente 40 a 50 años, representando sobre todo el riesgo extensivo. La curva de pérdida analítica representa el

riesgo asociado a grandes peligros, como los terremotos en Colombia y Nepal, y tanto terremotos y ciclones tropicales en México.

Cuando las dos curvas se integran como se presenta en la Figura 3.8 para el caso de Colombia, la curva empírica estima mayores pérdidas máximas probables que la curva analítica para los niveles de riesgos extensivos, con pérdidas directas de hasta EE.UU. \$30,000.000 que ocurre anualmente. Esto confirma que la curva de pérdida analítica no captura con precisión los riesgos extensivos. Sin embargo, la curva analítica estima mayores pérdidas máximas probables para períodos de retorno más largos. Esto que confirma que la curva de pérdida empírica subestima los riesgos intensivos, particularmente aquellos con períodos de retorno muy largos. Mediante la combinación de ambos, la curva híbrida de pérdida excedente permite a los gobiernos estimar el espectro de riesgos de desastres que enfrentan.

d. UNISDR Riesgo intensivo y extensivo

El Informe de Evaluación Global (GAR) 2009 (UNISDR, 2009) señaló que entre 1975 y 2008, 0,26% de los desastres registrados en la base de datos EM-DAT representó el 78,2% del total de la mortalidad registrada (UNISDR, 2011. P. 4).

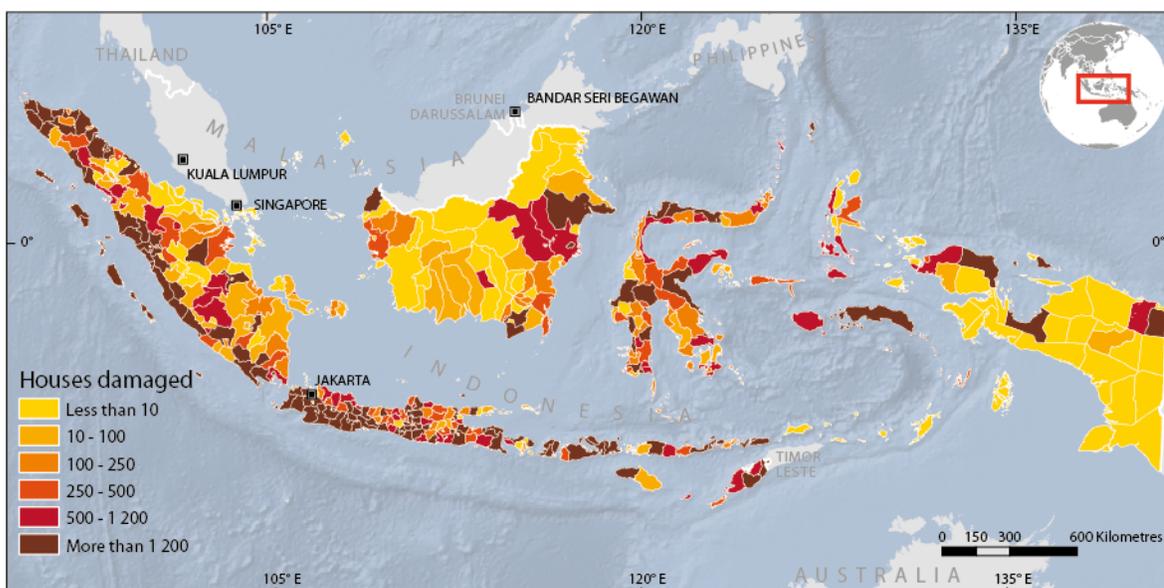


Figura 3.9: Casas destruidas y dañadas por desastres extensivos en Indonesia, 1970-2009 Fuente: UNISDR, 2010

Risk type	Hazard type	Reports	%	Deaths	%	Houses destroyed	%	Houses damaged	%
Extensive	Weather-related	188,236	96.3	59,911	9.2	1,096,891	18.3	5,674,114	50.1
Extensive	Geological	5,565	2.8	2,861	0.4	104,451	1.7	431,613	3.8
Intensive	Weather-related	1,293	0.7	182,723	27.9	3,079,749	51.4	3,806,413	33.6
Intensive	Geological	464	0.2	408,303	62.5	1,717,405	28.6	1,410,417	12.5
TOTAL		195,558	100.0	653,798	100.0	5,998,496	100.0	11,322,557	100.0

Tabla 3.2. Reportes, muertes y daño a casas por riesgo intensivo y riesgo extensivo. Fuente: UNISDR 2011, p. 37.

Riesgo intensivo y extensivo son términos relativos. Como tal, cualquier umbral cuantitativo entre las manifestaciones extensivas e intensivas de riesgo es arbitraria, sin importar la escala. Teniendo en cuenta que cada país o localidad tiene una huella de riesgo única, las curvas por excedencia de pérdida serían las más apropiadas para definir lo que es extensivo o intensivo en un determinado país (véase la tabla 3.2 para más información). El umbral de riesgo intensivo utilizado en el GAR 2011 se estableció en 25 muertes y 600

casas destruidas en cualquier informe individual de pérdida de nivel local (Freire, 2010; OSSO, 2011a).

El análisis mostró que el riesgo extensivo representa sólo el 9,6 por ciento de las muertes y el 20 por ciento de las casas destruidas (un indicador de la pérdida económica directa). El daño es mucho más ampliamente distribuido, donde el riesgo extensivo representa el 53,9 por ciento de las viviendas dañadas, 80 por ciento de las personas afectadas, el 83,1 por ciento de las personas heridas, el 45,2 por ciento de los daños a escuelas, y el 55,2 por ciento de los daños a las instalaciones de salud. Solo en términos de muertes y casas destruidas se está capturando una buena parte de los datos sobre pérdidas. Otros modelos basados en relaciones Pareto (Lavell, 2012) han demostrado que una muy significativa parte de las pérdidas no son reportadas. Entre estas diferentes realidades, podemos ver que el estudio del riesgo intensivo y extensivo, junto con la generación de más datos, es esencial para avanzar el conocimiento sobre relaciones causales.

e. Modelos de Catástrofe

Una técnica muy utilizada para crear una curva de probabilidad de excedencia en un modelo de catástrofe, es la de una combinación de un árbol de lógica con una simulación de Monte Carlo. Sobre la base de ejemplos sencillos presentados anteriormente, cada rama del árbol representa una alternativa que es muestreada desde una distribución probabilística, en lugar de asumir una alternativa de estimación sencilla.

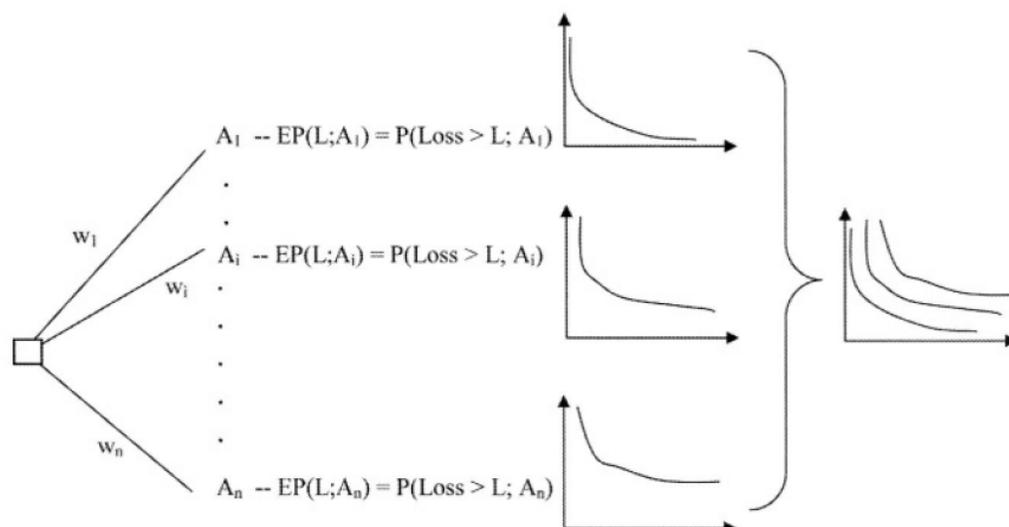


Figura 3.10. Uso de árboles de lógica y simulación para crear curvas de probabilidad de excedencia. Fuente: Grossi y Kunreuther, 2005.

Utilizando varias curvas de probabilidad de excedencia, estas se pueden utilizar para establecer la curva de más alto nivel de probabilidad, junto con dos curvas adicionales que representan un 90% de nivel de confianza simétrica respecto a la pérdida media.

Return Time (years)	Exceedance Probability	Estimated Loss Model A	Estimated Loss Model B*	Estimated Loss Model C**	Weighted Linear Combination***
Top Event	---	---	\$116.8	\$165.9	---
10,000	0.01%	\$93.3	\$93.7	\$131.9	\$103.15
5,000	0.02%	89.9	77.1	114.3	92.80
2,000	0.05%	79.0	69.7	91.6	79.83
1,000	0.10%	71.0	59.0	68.8	66.90
500	0.20%	63.7	52.0	56.5	57.18
250	0.40%	54.2	42.7	43.9	46.18
100	1.00%	39.1	31.7	28.5	32.75
50	2.00%	27.8	22.8	18.6	23.00
20	5.00%	16.3	12.5	9.4	12.68
10	10.00%	8.7	6.6	4.7	6.65
5	20.00%	2.9	2.4	1.7	2.35

* top event exceedance probability = 0.002% (Return time of 50,000 years)
 ** top event exceedance probability = 0.001% (Return time of 100,000 years)
 *** 50% weight on middle result and 25% weight on high and low results (no result shown for top event due to differences in exceedance probability and limitations of data)

Tabla 3.3. Probabilidad de excedencia versus pérdidas estimadas. Fuente: Grossi y Kunreuther, 2005, p. 82-83

'Bounding', una técnica en que se establecen los límites de confiabilidad de los resultados, es otra forma efectiva de reducir incertidumbre y maximizar resultados útiles. En la próxima figura, la curva compuesta media de EP son curvas de intervalos compuestos de 90% de confiabilidad: el límite inferior de pérdida, representando el 5to percentil de pérdida, y un límite superior de pérdida, que representa el 95avo percentil de pérdida. Los valores extremos en los tres modelos se utilizaron en la construcción de los intervalos de confianza. Por lo tanto, la tendencia a favorecer un modelo sobre los otros dos modelos fue evitada.

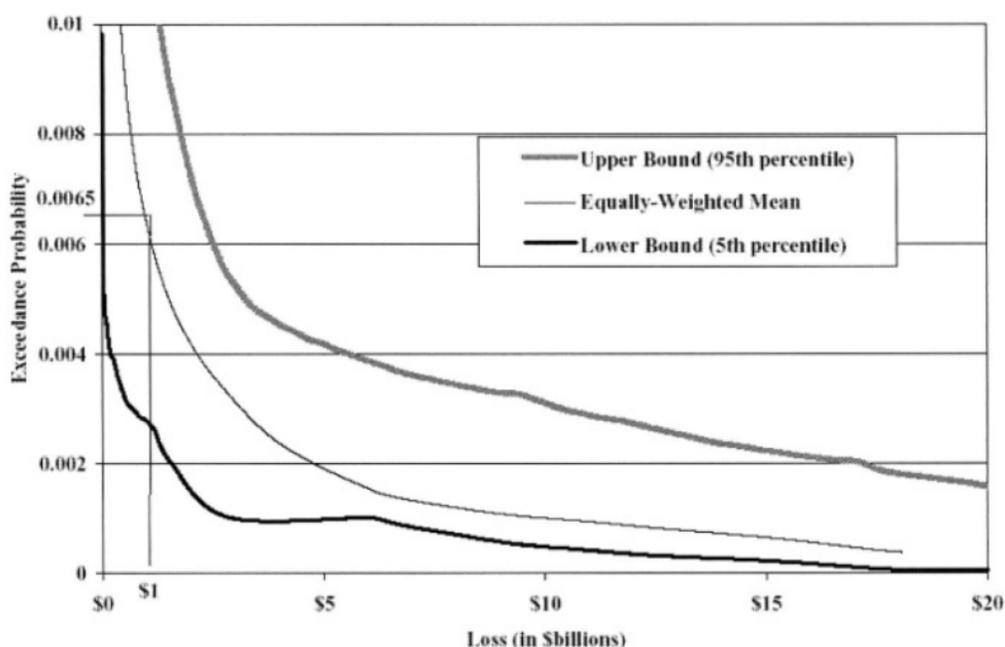


Figura 3.11. Uso de 'bounding' para delimitar los resultados dentro de un rango de alta probabilidad. Fuente: Grossi y Kunreuther, 2005.

4. Herramientas SIG

Las siguientes representaciones son basadas en herramientas que utilizan Sistemas de Información Geográfica (SIG). En general lo que se busca hacer es crear "etapas" en el modelo con información sobre la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad que permiten

una visualización espacial de las áreas expuestas a riesgos específicos o complejos, las poblaciones más vulnerables, así como las medidas de prevención, mitigación y medidas preparativas para reducir los niveles de riesgo. Como tales, típicamente contienen alguna combinación de indicadores, herramientas de modelado y la opinión tanto formal como informal de expertos. Esto todo es elaborado en conjunto como un sistema complejo, que muestra una representación visual simple y digerible de un problema complejo.

a. UNEP/GRIP/ISDR/World Bank PREVIEW

PREVIEW (Project for Risk Evaluation, Information and Early Warning) Global Risk Data Platform. Los datos han sido recolectados durante el periodo 1975 - 2008 y son actualizados una vez al año. Los modelos se aplican para transformar eventos pasados en huellas espaciales. Este proceso permite el cálculo de la exposición humana a estos eventos. Al vincular la exposición con las pérdidas asociadas, los estudios sobre la vulnerabilidad humana pueden ser elaborados.

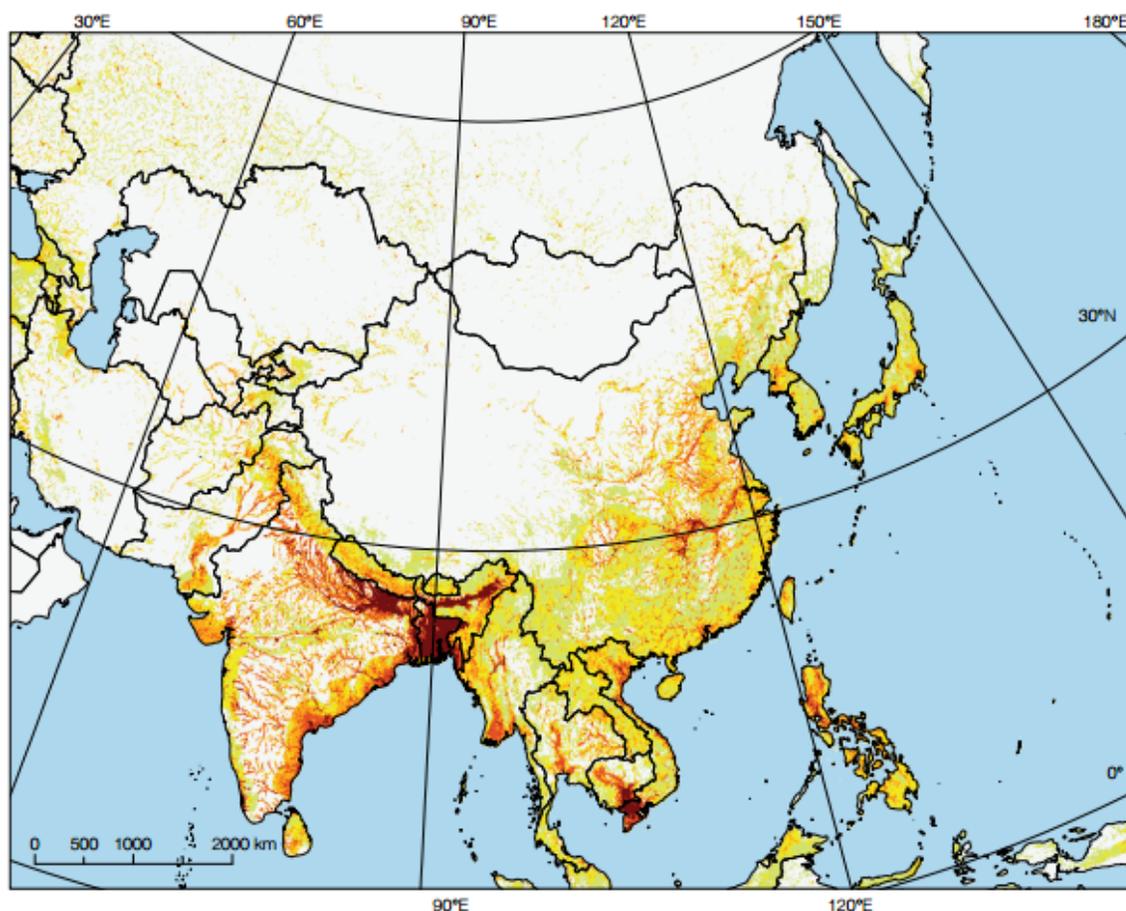


Figura 3.12. Distribución de riesgo de muerte por amenazas hidrometeorológicas (ciclones, inundaciones y deslizamientos causados por lluvias). Fuente: GAR 2011, p. 25

Limitaciones:

- A pesar de utilizar detallados conjuntos de datos, todavía se basa en los modelos globales y no debe ser utilizado para el ordenamiento territorial local.
- Los terremotos son una actividad de riesgo manifiesto.
- La sequía y el riesgo de tsunami no pudieron ser calculados.
- Parámetros de vulnerabilidad sobre todo a nivel nacional.
- Los informes sobre las pérdidas económicas no son aún muy precisos.

- El PIB como una medida de los bienes es limitada debido a que es más relacionada con ingresos que con la base de capital. Es decir, se necesita información sobre todo el capital invertido expuesto, no solo de los ingresos en el último año.
- La mortalidad no es necesariamente el mejor indicador (modos de vida sería mejor)

A multiplicative model

Simplifying the equation

$$R = H \cdot Exp \cdot V \quad \Rightarrow \quad R = PhExp \cdot V$$

Introducing the factors and their weights

$$R = C \cdot PhExp^{\alpha_0} \cdot V_1^{\alpha_1} \cdot V_2^{\alpha_2} \dots \cdot V_n^{\alpha_n}$$

Where:

R = risk of losses from a specify hazard type

C = multiplicative constant

$PhExp$ = physical exposure, i.e. the population exposed per year to a specific hazard

V_i = vulnerability factors (socio-economical parameters)

α_i = exponents of $PhExp$ and V_i

Taking the logarithms

$$\ln(R) = \ln(C) + \alpha_0 \cdot \ln(PhExp) + \alpha_1 \cdot \ln(V_1) + \alpha_2 \cdot \ln(V_2) \dots + \alpha_n \cdot \ln(V_n)$$

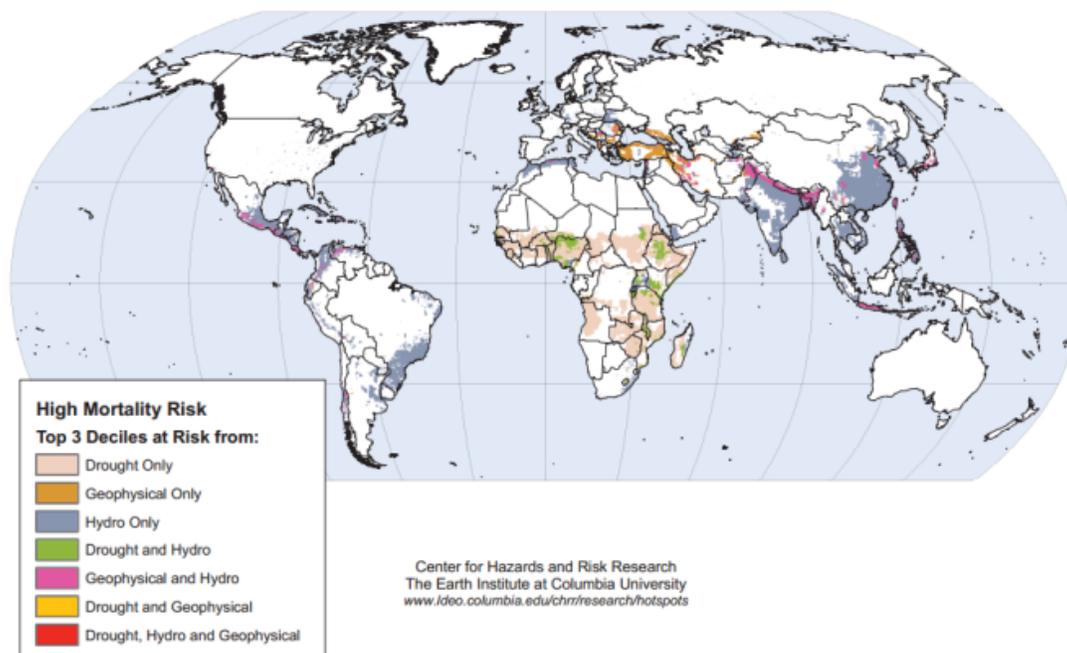
Figura 3.13. ‘Un modelo multiplicativo’ demuestra cómo se computa el riesgo total en base a variables de amenaza, exposición y vulnerabilidad. UN EIRD, Modelo PREVIEW. Fuente: Peduzzi, 2006.

b. Banco Mundial / Hotspots (2006)

Este proyecto ha estimado los niveles de riesgo mediante la combinación de la exposición al riesgo con la vulnerabilidad histórica, para dos indicadores de elementos de riesgo- población y Producto Interno Bruto (PIB) por unidad de área- para seis principales amenazas naturales: terremotos, volcanes, deslizamientos, inundaciones, sequías y ciclones. Mediante el cálculo del riesgo relativo para cada celda de la cuadrícula, en lugar de para los países en su conjunto, han sido capaces de estimar los niveles de riesgo a escalas

sub-nacionales. Un conjunto de estudios de casos que lo acompañan, disponibles por separado, exploran los riesgos de amenazas particulares o para áreas localizadas con mayor detalle, utilizando el mismo marco teórico que el análisis global. Este proyecto fue ejecutado entre 2001 y 2005; y luego fue discontinuado.

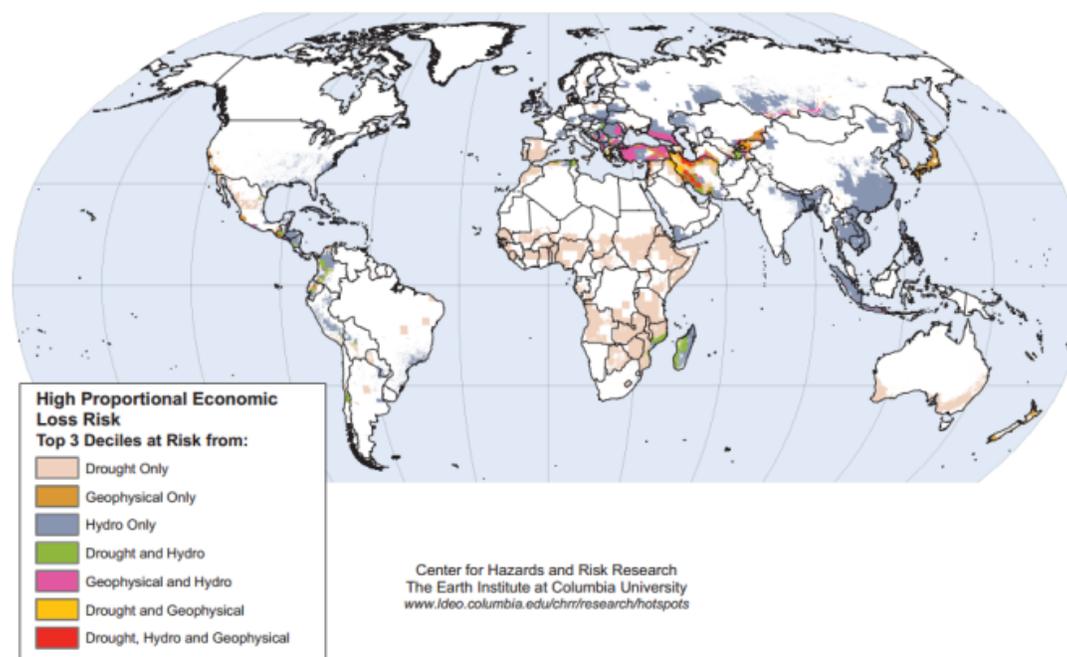
Global Distribution of Highest Risk Disaster Hotspots by Hazard Type
Mortality Risks



Note: Geophysical hazards include earthquakes and volcanoes;
hydrological hazards include floods, cyclones, and landslides.

Source: Figure 1.2a. *Natural Disaster Hotspots - A Global Risk Analysis*
©2005 The World Bank and Columbia University

Global Distribution of Highest Risk Hotspots by Hazard Type
Economic Loss Risks as a Proportion of GDP per Unit Area



Note: Geophysical hazards include earthquakes and volcanoes;
hydrological hazards include floods, cyclones, and landslides.

Source: Figure 1.2c. *Natural Disaster Hotspots - A Global Risk Analysis*
©2005 The World Bank and Columbia University

Figura 3.14. Modelo HOTSPOTS, riesgo de muerte y riesgo de pérdida económica. Fuente: Dilley et al., 2005.

c. IDEA / BID / ERN CAPRA (2012)

La Iniciativa para la Evaluación Probabilística del Riesgo – CAPRA - es una Plataforma de Información del Riesgo por Desastre de uso en la toma de decisiones, que se basa en una metodología unificada y herramientas para la evaluación y expresión del riesgo de desastres. Actualmente esta herramienta se ha utilizado en varios países seleccionados de América Latina.

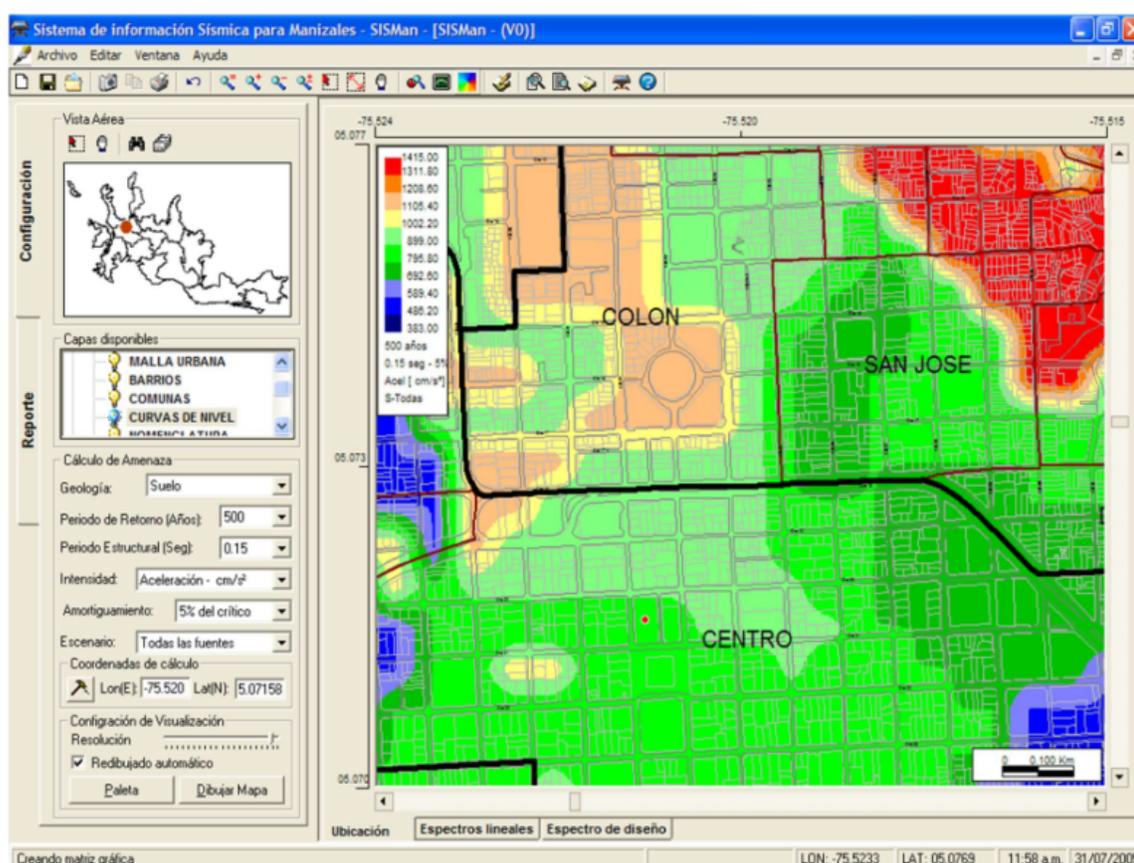


Figura 3.15. Modelación CAPRA demuestra zonas de alta exposición, amenaza, vulnerabilidad. Fuente: Cardona, et al., 2010.

d. HVRI IHAT Mapper (2012)

Integrated Hazard Assessment Tool (IHAT) fue creada para proporcionar un portal web sobre valoraciones de amenaza y vulnerabilidad social. El propósito principal de esta

aplicación es visualizar y mapear frecuencias de amenaza, vulnerabilidad social, e información sobre eventos, para permitir evaluaciones informadas de la vulnerabilidad acorde con los estándares de DMA (2000). La herramienta ha sido implementada por el estado de Carolina del Sur, EE.UU.

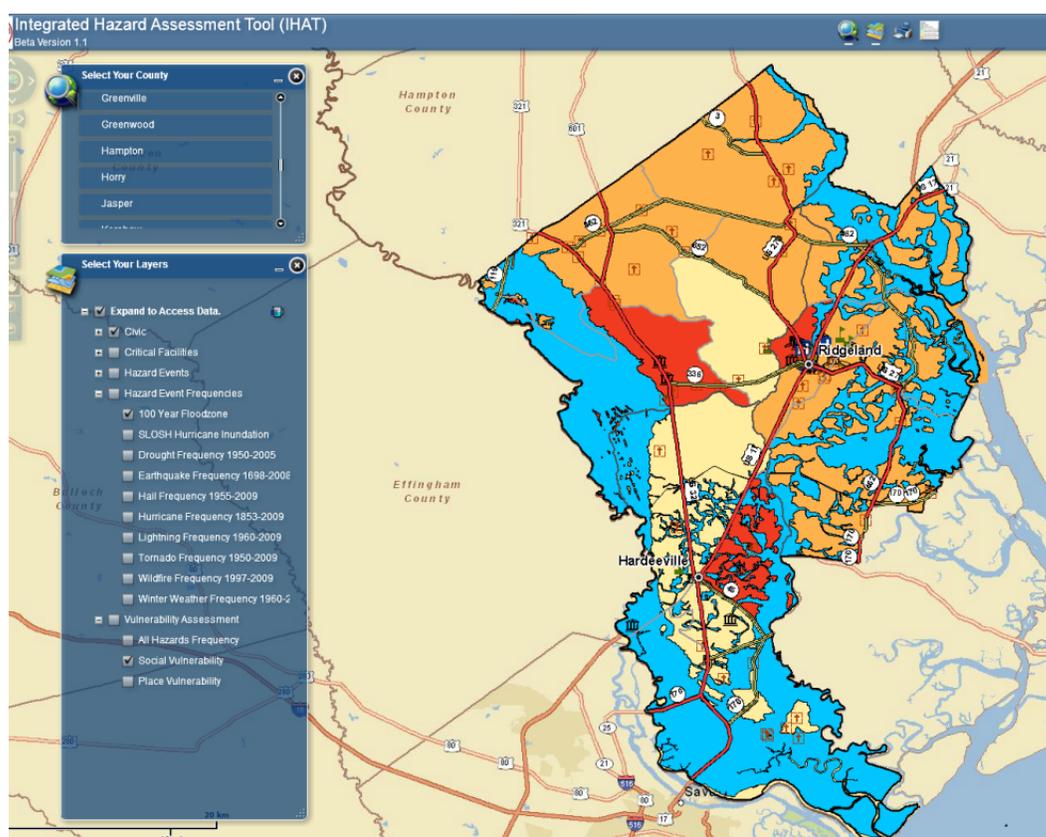


Figura 3.16. Modelación IHAT (Herramienta de Análisis de Amenaza Integrada) de HVRI. Fuente: Página web del HVRI, 2013.

e. FEMA HAZUS

HAZUS es una metodología estandarizada de aplicación a nivel nacional en los Estados Unidos, que contiene modelos para estimar las pérdidas potenciales por terremotos, inundaciones y huracanes. HAZUS utiliza la tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para estimar los impactos físicos, económicos y sociales de los desastres.

Ilustra gráficamente los sitios identificados con alto riesgo debido a terremotos, huracanes o inundaciones. Los usuarios pueden visualizar las relaciones espaciales entre las poblaciones y otros activos o recursos ubicados geográficamente. Estos tipos de datos permiten hacer una función crucial del proceso de planificación pre-desastre.

IV. Importancia de las relaciones causales

A. ¿Qué es la causalidad?

1. Nociones históricas de causalidad

Tal vez el primer tratamiento sistemático de la 'causalidad' fue elaborado por Platón en su Teoría de las Formas o Ideas (Eidos). A pesar de que la traducción aumenta la incertidumbre en torno al significado, muchos autores creen que la teoría de las formas de Platón es en realidad una teoría de la causalidad (Vlastos, 1981). En la búsqueda de una teoría de los universales, Platón sostuvo que cuatro "formas" distintas o "ideas" se influyen / entremezclan para crear cada instancia particular de las cosas que vemos en la realidad. La confusión proviene de la palabra griega 'aitia', que se traduce generalmente como "causa", pero tiene un significado mucho más amplio que la definición actual de la palabra 'causa'.

En cualquier caso, por los insistentes intentos de Platón, Aristóteles desestimó la teoría original de aquél sobre los universales y particulares, como una simple explicación gramática: el sujeto individual se relaciona de una manera específica con los universales en el supuesto: "*Si una cosa se predica de otra como sujeto, todo lo dicho de lo que se predica hablará del sujeto también.*" (Categorías de Aristóteles, capítulo III). Él luego adaptó la Teoría de las Formas de Platón dentro de su propia teoría de la causalidad, como Gregory Vlastos (1981) señala:

La "teoría del por-qué", es decir causalidad, de Aristóteles se basa en un modelo en el que cuatro fuerzas causales diferentes trabajan juntas. Estas fueron las causas materiales y formales (en conjunto, las causas visibles), así como las causas eficientes y finales (en conjunto, las causas inteligibles). Para poder entender mejor a que se refería Aristóteles, con sus cuatro causas, aquí incluimos una cita directa de su texto. Causa se entiende como (Aristóteles, *Metafísica, Libro 5, sección 1013a, 1989*):

“(a) en un sentido, como el resultado de cuya presencia algo viene a ser - por ejemplo, el bronce de la estatua y la plata de la copa, y las clases que contienen estos [es decir, la causa material];

(b) en otro sentido, la forma o patrón, es decir, la fórmula esencial y las clases que la contienen - por ejemplo, la proporción 2:1 y el número en general, es la causa del octavo - y las partes de la fórmula [es decir, la causa formal].

(c) La fuente del primer comienzo de un cambio o descanso; por ejemplo, el hombre que planea es una causa, y el padre es la causa de los niños, y en general lo que produce es la causa de lo que es producido y lo que cambia de lo que es cambiado [es decir, la causa eficiente].

(d) Lo mismo que "el fin ", es decir, la causa final, por ejemplo, como el "fin" de caminar es salud. Pues ¿por qué el hombre camina? ", decimos, para estar saludable y al decir esto, consideramos que hemos suministrado la causa [la causa final].

(e) Todos los medios que surgen por iniciativa de otra cosa, como, por ejemplo, reductores de grasa, purgas, los medicamentos y los instrumentos son las causas de la salud, porque todos tienen el fin como su objeto, aunque difieren entre sí porque algunos son instrumentos, otros son acciones [es decir, las condiciones necesarias].”

Siglos más tarde, Hume expuso una teoría más completa de la relación de causalidad que ha resistido el paso del tiempo (o, podríamos decir, que hemos tenido dificultades de superar hasta hoy en día):

1. "La causa y el efecto deben ser contiguos en el espacio y el tiempo."

2. *"La causa debe ser anterior al efecto. "*
3. *"Tiene que haber una unión constante entre la causa y el efecto. "*
4. *"La misma causa produce siempre el mismo efecto, y el mismo efecto nunca surge sino es de la misma causa. "*
5. *"Cuando varios objetos diferentes producen el mismo efecto, debe ser por medio de una cierta cualidad, que descubrimos que es común entre ellos. "*
6. *"Fundada en la misma razón... la diferencia en los efectos de dos objetos que se parezcan debe partir de ese particular, en el que se diferencian."*
7. *"Cuando un objeto aumenta o disminuye con el incremento o la disminución de su causa, es considerado como un efecto combinado, derivado de la unión de los distintos efectos que surgen de las diferentes partes de la causa."*
8. *"[Un] objeto, que existe para cualquier momento en toda su perfección y sin ningún efecto, no es la única causa de ese efecto, sino que requiere de la asistencia de algún otro principio, que puede transmitir su influencia y operación. " (Hume, 1896).*

Kant más tarde se basa en la obra de Hume, especialmente en los términos de las primeras proposiciones de Hume, mediante la construcción de la noción a priori frente al conocimiento posteriori. Dado que la causalidad se da en el mundo neumónico (el mundo "real") y no en el mundo de los fenómenos (el mundo que percibimos), las intuiciones e hipótesis acerca de las relaciones causales deben ser necesariamente a priori ya que no tenemos acceso directo al mundo neumónico:

"Todo cambio tiene su causa (la ley universal de la naturaleza), el juzgamiento transcendental tiene nada más que hacer que propiciar a priori la condición de subsunción bajo el concepto de conocimiento puesto ante sí, es decir, la sucesión [en el tiempo] de las determinaciones de una y de la misma cosa. Para la naturaleza en general (como objeto de la experiencia posible) esa ley es cognitivamente entendida como absolutamente necesaria." (Kant, 1792)

Esto a su vez da paso al problema identificado y abordado más tarde en los marcos causales probabilísticos: a saber, hay potencialmente un número infinito de posibles leyes empíricas que podrían ajustarse al conjunto dado de causas detrás de cualquier efecto. Es decir, tenemos que utilizar la intuición junto con la inducción para establecer la explicación causal más probable de todas las posibles causas que puedan influir en un efecto dado:

"... El problema, que se encuentra a priori en nuestro conocimiento, es hacer una experiencia conectada de las percepciones dadas de una naturaleza que contiene en todo caso una infinita variedad de leyes empíricas." (Kant, 1792)

2. Nociones contemporáneas de la causalidad

En general, la mayoría de estos enfoques conceptuales sobre la causalidad pueden ser considerados de naturaleza determinista, ya que las conceptualizaciones probabilísticas no comenzaron a ganar popularidad hasta finales del siglo XIX. Sin embargo, a medida que avanzamos en la era contemporánea, la necesidad de marcos causales probabilísticos como los de Kant y Peirce fueron creados para resolver problemas del mundo real y su complejidad causal probabilística. En muchos campos de estudio donde las metodologías determinísticas no son suficientemente complejas, estos tipos de modelos estadísticos se han convertido en esenciales. Tanto los campos de la psicología y la economía han descubierto la necesidad de desarrollar métodos para manejar estas limitaciones de la

previa generación de herramientas en hacer el cambio del análisis de correlaciones al análisis de causalidad.

En un sentido más contemporáneo, "la causa" se define generalmente como "una persona o cosa que da lugar a una acción, fenómeno o condición. Sin embargo, más allá de esta simple definición se encuentra escondido un problema mucho más complejo. En primer lugar, la naturaleza de la interacción entre la causa y el efecto es a menudo difícil de determinar. En segundo lugar, la interacción puede implicar otras variables o factores auxiliares de confusión. En tercer lugar, la interacción puede que no se aplique siempre. Es decir, la causalidad en el mundo real es a menudo un asunto probabilístico, multivariado, no recursivo y con más incertidumbre que los datos.

La causalidad probabilística es en muchos casos un asunto tan complejo, que fácilmente supera nuestra capacidad innata para organizar intuitivamente decisión y acción en torno a las hipótesis causales. Es decir: la toma de decisiones siempre se basa en alguna noción de causalidad, aunque casi siempre el humano escoge uno o dos de los factores causales más claves porque el buscar entender todas las causas y sus relaciones es extremadamente laborioso y difícil de establecer. Por eso utilizamos la noción de causalidad de forma extremadamente regular: cada vez que utilizamos la palabra "porque" estamos implicando una relación causal, y traducimos regularmente de las acciones a los supuestos de las causas de las acciones de manera tan transparente, que a menudo sólo recordamos la causa implícita, mientras que el evento en sí se torna trivial. Como Mulaik lo ha dicho adaptándose a Kant:

"La causalidad es un esquema a priori por la que la mente organiza y sintetiza la experiencia al mostrar cómo ciertos atributos de las cosas dependen de otros atributos de las cosas. " (Mulaik, 2009)

Entre todas estas definiciones se encuentra un aspecto crucial que requiere una nomenclatura y metodología particular para el estudio de la causalidad: la causalidad

requiere direccionalidad. Las estadísticas convencionales pueden establecer correlaciones entre las variables, pero no pueden determinar la direccionalidad de las correlaciones. Esto no fue un problema cuando todavía había muchas exploraciones causales simples para descubrir: las leyes de Newton de la física no asumen una direccionalidad específica entre gravedad y un objeto caer, aunque se da a entender lógicamente. Por ejemplo, podríamos igualmente decir que "la gravedad ejerce una fuerza sobre una masa que hace que se acelere", como podríamos decir "una masa acelerada provoca una fuerza de gravedad", pero no tendría sentido para nosotros pensar en estos términos. Sin embargo, las matemáticas, el simbolismo lógico, no hacen esta direccionalidad explícita.

"Teniendo en cuenta dos variables cualesquiera A y B, que tienen una correlación distinta de cero entre ellas, A puede ser la causa de B, B puede ser la causa de A, o A y B puede tener otras variables que son causas comunes de ambas. E incluso si tienen una correlación cero, esto puede ser debido a causas canceladas entre ellas. Así, entre los pares de variables, la causalidad es indeterminada de la naturaleza de su correlación. Sin embargo, el análisis del factor común asume arbitrariamente que, si se correlacionan pares de variables, se debe a la presencia de causas comunes latentes entre ellas. En consecuencia, el análisis factorial exploratorio va en busca de estas causas comunes. A veces, incluso a menudo, esto es engañoso." (Mulaik, 2009)

En otras palabras, se requiere un nuevo marco que pueda abarcar tanto los requisitos de la direccionalidad de la causalidad, así como los requisitos probabilísticos multivariados de la complejidad causal en el mundo real. En la generación de este marco, la discusión previa ayuda a arrojar luz sobre algunos de los requisitos clave, así como dificultades de tratar de cuantificar la causalidad en escenarios no deterministas, como a las que se enfrenta la gestión del riesgo de desastres.

B. ¿Qué es Inferencia Causal?

"El desarrollo de la ciencia occidental se basa en dos grandes logros: la invención del sistema de lógica formal (en la geometría euclidiana) por los filósofos griegos, y el descubrimiento de la posibilidad de descubrir las relaciones causales de experimentación sistemática (en el Renacimiento) " Albert Einstein (1953)

Para explicar la inferencia causal, en primer lugar, debemos aclarar qué se entiende por inferencia. En su forma más simple, la inducción se define como "la inferencia de una ley general desde casos particulares". Esto es en contraste con la deducción: "la inferencia de casos concretos por referencia a una ley general o principio". En ambos casos, es la inferencia que nos permite llegar al conocimiento (Peirce, 1901 en Butler, 1940).

En un marco causal, la inferencia nos permite establecer relaciones que mantienen lo real, de lo particular a lo general, para que se pueda luego aplicar la regla general de causalidad validada para un caso particular, con un resultado de intervención específico esperado. Cuando se ha establecido inferencia causal, se sabe que (Pearl, 2000):

- Si hacemos X podemos esperar resultado Y.
- ¿Cuál es la dirección de la influencia entre variables correlacionadas?

No sólo se puede predecir los resultados de una intervención, sino también se puede validar o determinar el resultado esperado si ninguna intervención ocurriera. Esto se conoce comúnmente como el cálculo de los **contrafácticos** (Mulaik, 2009), en el entorno específico de este estudio:

- ¿Cómo hubiera procedido el desarrollo en alguna ciudad si nunca hubiera ocurrido un desastre?

- ¿Cómo hubieran resultado las pérdidas después de un desastre si ciertos parámetros se hubieran mantenido a un nivel específico versus si fueran mejorados en la medida de un valor porcentual dado?

Dentro de la estadística se tienen varias tareas comunes a realizar. Probablemente la más estandarizada, de más bajo riesgo y más comúnmente realizada es la estadística descriptiva, en la que se presenta un panorama de cómo están las cosas ahora o en algún momento en el pasado. Una tarea más difícil es utilizar los datos disponibles para establecer una tendencia o pronóstico en el futuro sobre la base de un conjunto razonablemente constante de supuestos. Lo más difícil de probar estadísticamente o de predecir en la actualidad es el resultado de una intervención. Y, es que son estas intervenciones las que constituyen la mayor parte del trabajo realizado en la Gestión del Riesgo de Desastres, ya se trate de intervenciones que se producen en las comunidades locales, o si se introducen como cambios en los procesos de desarrollo.

C. ¿Qué es el modelado causal probabilístico?

1. El análisis de rutas

En 1923, el genetista Sewell Wright desarrolló un enfoque que trató de establecer las causas, utilizando correlaciones parciales y diagramas de ruta, para representar a la direccionalidad implícita de las influencias causales. Este intento fue en respuesta a las limitaciones que impone examinar las correlaciones entre variables. Se trataba de la simple utilización de variables representadas por círculos o cuadrados y conectados por flechas direccionales que indican la dirección de las relaciones causales entre las variables. Con los años, esta técnica se perfeccionó dentro de la psicología y otras ciencias sociales como un medio para explicar las relaciones en modelos conceptuales o imponer restricciones causales externas en datos correlacionados (Mulaik, 2009; Pearl 2009).

2. Ecuaciones lineales simultáneas

El uso de ecuaciones lineales simultáneas en economía se remonta a la década de 1930, cuando John Maynard Keynes desarrolló este tipo de modelos para relacionar conjuntos de variables económicas entre ellas. Este proceso se desarrolló poco a poco como una técnica econométrica. Unas décadas más tarde, en 1966, Bock y Bargmann lograron desarrollar un método para probar ecuaciones estructurales lineales utilizando análisis de estructuras de covarianza. Por último, en 1973, Joreskog desarrolla un modelo general de análisis del factor confirmatorio y el algoritmo para la estimación de los parámetros del análisis de estructuras de covarianza. Esto completó el proceso de desarrollo del modelo, de la construcción de modelo, a la parametrización, a la prueba (Grace, 2007; Pearl, 2000).

3. Integración del análisis de la ruta y las ecuaciones lineales simultáneas

Estas dos técnicas de análisis de ruta y ecuaciones lineales simultáneas fueron fusionadas en lo que se conoce comúnmente como modelos de ecuaciones estructurales (SEM). Como tal, se convierte en una meta- metodología que subsuma a varios de los modelos más destacados de correlación (como AFC, la EPT, ACP, etc.) desde el campo estadístico, con una representación visual y la nomenclatura oficial y la metodología para el cálculo de las relaciones causales por iteración a través de los caminos causales disponibles.

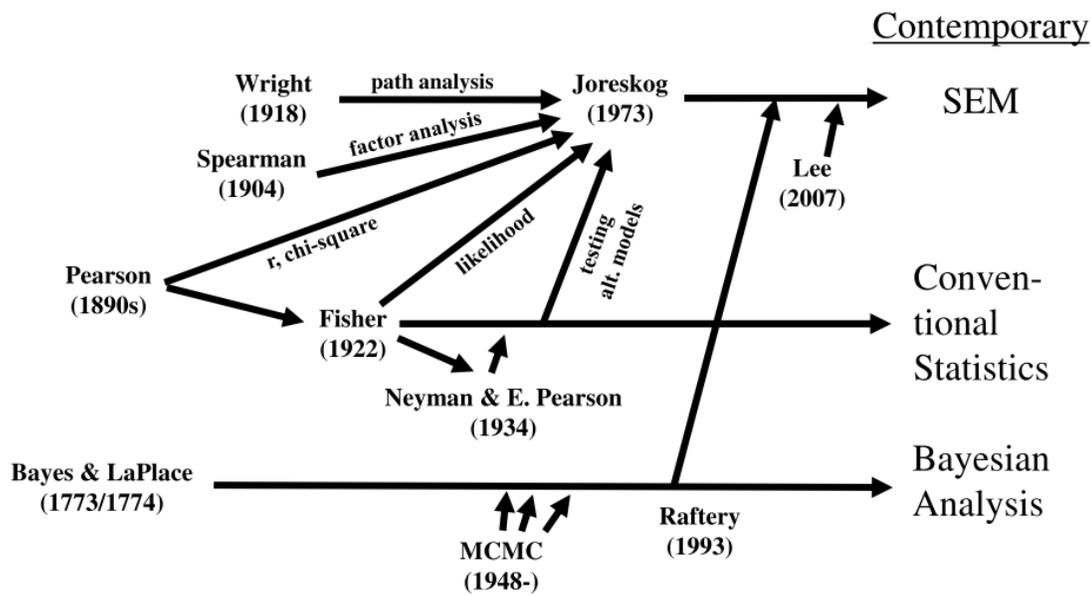


Figura 4.1. “Una historia simplista del SEM”. Fuente: Grace, 2005.

D. ¿Qué es el modelado de ecuaciones estructurales (SEM)?

SEM es una metodología desarrollada recientemente para establecer la inferencia causal en un marco probabilístico. Generaliza el análisis de factores y permite el establecimiento de la causalidad a través de asegurar que la condición de Markov se cumple figura 4.1 (Grace, 2005). Es decir, que sólo la causa antecedente inmediata a un efecto puede afectar esa variable. Mediante la utilización de un tipo específico de diagramas causales conocidos como Gráficos Acíclicos Dirigidos (DAG, por sus siglas en ingles), se puede representar visualmente estas representaciones causales como se muestra en la figura 4.2 (Mulaik, 2009).

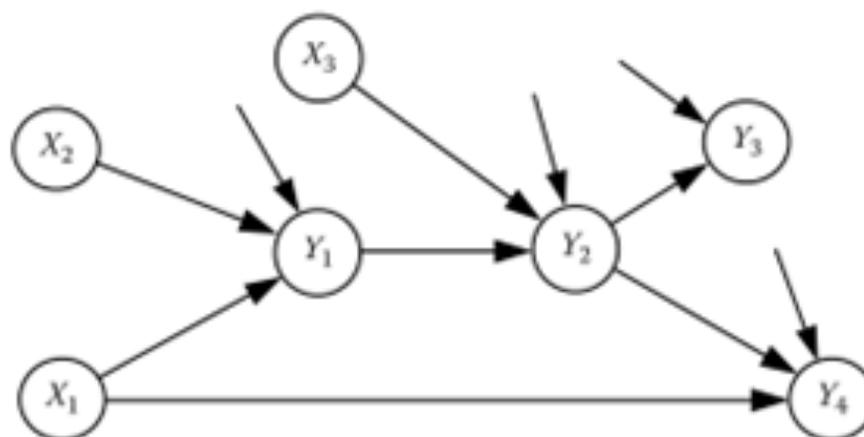


Figura 4.2. DAG con variables que tienen más de una causa para ilustrar la condición causal de Markov. Fuente: Mulaik, 2009.

El DAG para un determinado modelo puede entonces ser utilizado para el seguimiento de cada ruta causal, añadiendo el efecto causal neto para cada variable a lo largo del camino. La figura 4.2 (Mulaik, 2009) muestra una simple SEM DAG y sus ecuaciones estructurales.

Cada uno de los diferentes elementos del modelo lleva una nomenclatura diferente:

- Los círculos representan variables latentes (ya sea endógenas o exógenas).
- Los cuadrados representan variables observadas.
- Las variables de error están asociadas a cada variable observada y a las variables latentes endógenas.
- Las rutas causales están ilustradas con flechas. Cada ruta está representada con un parámetro que determina el cambio lineal en el valor que una variable causa en la siguiente.

Con este modelo y conjunto de datos de las variables observadas para alimentar el modelo, se pueden estimar los valores de los parámetros. Una vez completado esto, se usa el modelo y los parámetros estimados para crear una matriz de covarianza implícita de las variables endógenas observadas (las Y_{11} a Y_{18} en la figura 4.3 (Mulaik, 2009)). Cuando se

compara la matriz de covarianza implícita con la matriz de covarianza real observada, se es capaz de obtener algunos grados cuantitativos de ajuste con los que se puede determinar si el modelo puede ser considerado estadísticamente significativo. (Mulaik, 2009).

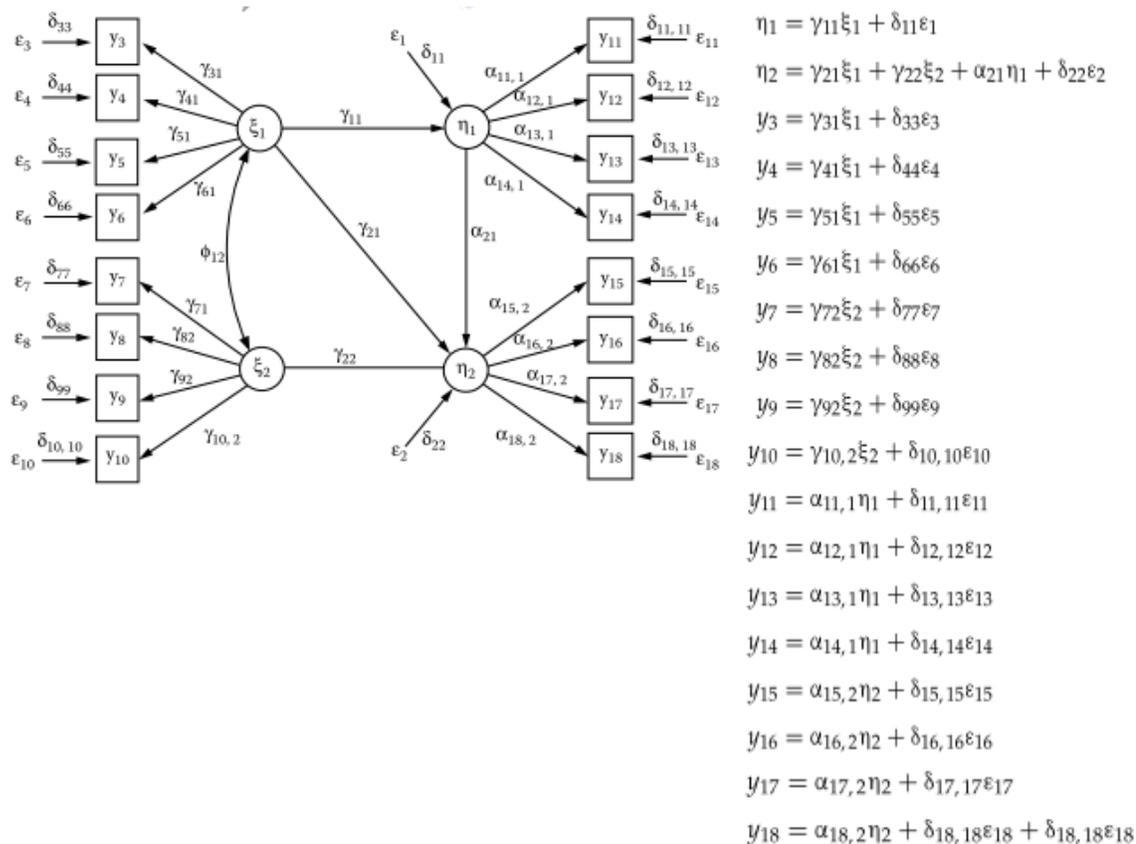


Figura 4.3. Un SEM ejemplar, con variables latentes expresadas con círculos y variables observadas en cuadros; a la mano derecha se demuestra la serie de ecuaciones que exactamente definen este proceso (pero en sí no pueden expresar la direccionalidad de las relaciones). Fuente: Mulaik, 2009.

Es importante notar que en modelos SEM se enfatiza que al tener un alto nivel de encaje (“model fit”), no necesariamente tenemos el modelo representativo correcto, solo uno de alto encaje. Es decir, el modelo que tenemos no ha sido refutado como el mejor modelo todavía, pero siempre existe la posibilidad de que existe un modelo más fiel a los datos. La figura 4.4 resume el proceso del SEM, entre modelo hipotético, el uso de parámetros estimados, y la comparación de matrices de covarianza entre datos observados (“observed covariance matrix”) y datos modelados (“implied covariance matrix”) (Pearl, 2000, 2009).

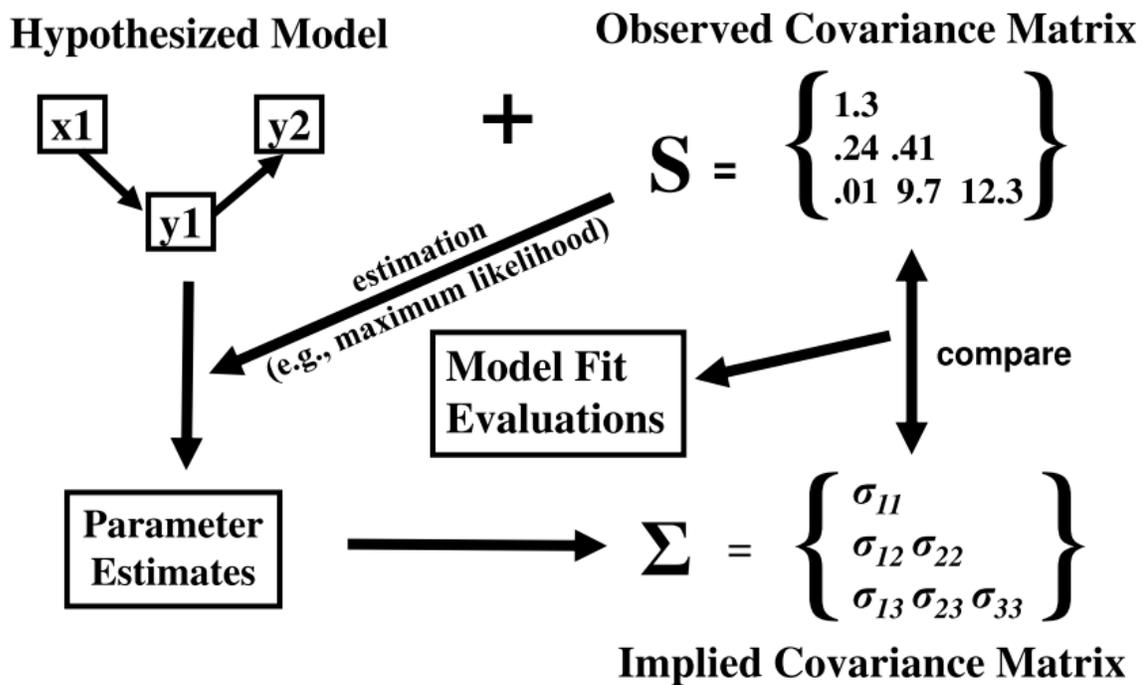


Figura 4.4. El proceso de evaluación de modelos SEM. Fuente: Grace, 2007.

V. Modelo SEM de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre

A. Contexto

Este modelo se ha elaborado usando el Índice de Condiciones y Capacidades para la Reducción del Riesgo (ICCRR o TIR, para abreviar) 2010 de DARA /AECID (Lavell et al., 2010) como plantilla conceptual para la construcción del riesgo de desastres como componente exógeno del modelo, y los datos de pérdidas por desastres de EM- DAT para las variables endógenas observadas. El ICCRR establece 4 conductores de riesgo que pueden ser revertidos o modificados de manera positiva, con el fin de reducir el riesgo de desastres basado en el Marco de Acción de Hyogo (MAH) (EIRD, 2005), o al menos poner en jaque, el rápido aumento de la tasa de pérdidas por desastres. El objetivo es establecer una relación entre los factores de riesgo de la ICCRR y datos de pérdidas por desastres de EM-DAT usando datos de exposición física del modelo PREVIEW del PNUMA/EIRD (Peduzzi, 2006; EIRD, 2011, 2013) para ajustar el nivel de exposición a los riesgos de cada país de la muestra.

Los supuestos detrás del MAH, Sendai, y los resultados de la ICCRR se han utilizado en una amplia variedad de contextos dentro de la matriz de valoración del riesgo de desastres. Sin embargo, en realidad, no ha habido ningún esfuerzo concertado para poner a prueba estas hipótesis contra la evidencia empírica. Esto es necesario para determinar si efectivamente estas prescripciones darían lugar a una reducción del riesgo, y lo más importante, cómo pueden ser evaluadas, priorizadas y validadas. Dado que muchas de las políticas que se defendían ya se han aplicado en los países desarrollados, en general hay una base anecdótica considerable detrás de estos supuestos. Sin embargo, sin evidencia empírica para apoyar o refutar estas hipótesis, se corre el riesgo de impulsar políticas que, en el peor de los casos, pueden aumentar el riesgo de desastres y en el mejor de los casos sólo pueden mantenerlo a raya. Es importante recordar que muchos países desarrollados están sufriendo el aumento de las pérdidas por desastres también, no tanto en pérdidas de vidas, sino con pérdidas económicas cada vez más elevadas.

Por lo tanto, en estos modelos se utilizan los mismos datos utilizados en el índice ICCRR 2010 para poner a prueba un modelo de ecuaciones estructurales (SEM), con base en el marco conceptual establecido en el ICCRR y MAH.

Al comparar una matriz de covarianza de los últimos 40 años de datos de pérdidas por desastre de EM-DAT con una matriz de covarianza predicha por el modelo SEM ICCRR, se puede determinar qué tan bien nuestro modelo conceptual se ajusta a los datos de pérdida de la vida real.

B. Metodología

1. Datos

Estos modelos utilizan aproximadamente 20 indicadores de desarrollo y de desastres en una muestra final de 167. De los 240 países en de la base de datos sólo 167 tenían datos suficientes para este análisis. En concreto, estos datos se componen de los valores más recientes de los indicadores obtenidos del Banco Mundial y de los datos sobre las pérdidas por desastres entre 1970-2010 de EM- DAT, de la Universidad de Lovaina en Bélgica.

Este proyecto se basa en datos recolectados, ajustados y modelados durante la primera instancia de este proyecto de tesis, en el 2010, y por esto cubre un rango de datos desde el 1970 hasta el 2010. Es importante notar que la recolección de datos y la modelación no se repitieron para esta segunda instancia de la tesis como lo importante es la documentación de este primer intento en validar relaciones causales entre desarrollo y desastre.

Los últimos resultados son el producto de aproximadamente 7 iteraciones de datos, es decir, los datos fueron modificados por varias técnicas en una iteración tras otra hasta poder alcanzar un set de datos que podrían correrse por el programa de SEM LISREL sin errores básicos. Por su parte, se empleó imputación manual y de Cadena Markov Iterativo de Simulación Monte Carlo (“Imputed Markov Chain Monte Carlo method” o MCMC por sus siglas en Inglés) para valores no existentes en varias de las series. La meta principal fue

mantener el tamaño de la muestra de países lo más amplia posible y al mismo tiempo minimizar el número de valores requiriendo ajuste por imputación MCMC

También se exploraron más de 50 modelos SEM, ya que los errores y las fuentes de sesgo se han ido reduciendo, pero nunca han sido completamente eliminadas. Como prototipo, estos modelos podrían aún así contener errores que pudieran invalidar los resultados. Sin embargo, es importante señalar que en este proyecto pretende más bien un intento de exploración para traer nuevos kits de herramientas en la rúbrica de GDR. No constituye un intento para llegar a un modelo final y concluyente para explicar el riesgo de desastres a partir de variables causales de patrones de desarrollo.

La mayor limitación y fuente de error identificada fue la baja cantidad y estandarización de los datos utilizados. Por ejemplo, datos que no cubrían todos los países incluidos requerían imputación, y datos en series exponenciales requirieron de procesos para linearizar los datos. Del lado de las pérdidas, 40 años de datos solo nos permiten tener una pequeña muestra de datos sobre la cual ajustar la influencia de eventos con gran periodo de retorno. Además, muchos de los datos de las primeras dos décadas de la muestra son severamente limitados para países con bajo desarrollo, con bajas capacidades de reportar eventos para su registro a nivel internacional. Del lado de datos sobre desarrollo, cada serie viene de una distinta fuente, con distintas listas de países incluidos, y elaborados durante distintos años, y con distintas metodologías y rangos de datos.

2. LISREL

El modelado SEM se realizó utilizando LISREL versión 8.8. El proceso involucra primero usar una serie de herramientas para hacer los ajustes necesarios a los datos como se ha mencionado anteriormente; después, crear las variables latentes y establecer su relación causal utilizando el idioma de cómputo de LISREL o con asistencia del sencillo modelo visual de CAD dentro de LISREL, que permite visualmente mapear las relaciones en una forma más intuitiva que el código de programación. Los gráficos de los modelos de AFC y SEM

fueron generados utilizando esta herramienta, y los listados de código de programación utilizado para generarlos pueden ser localizados en los anexos. Finalmente, los datos se corren por el modelo, y el sistema LISREL provee un documento con los resultados de varias pruebas estadísticas sobre la matriz de covarianza. Estas pruebas nos indican qué tan bien encaja la matriz de covarianza de los resultados con la matriz de covarianza de los datos observados, es decir, de las pérdidas registradas en las bases de datos de desastres.

Se presentaron algunas dificultades en cuanto a la estabilidad del software en comparación con un entorno más robusto como AMOS en SPSS, el software estadístico de IBM (International Business Machines). En general, la mayoría de los entornos de modelado proporcionan resultados similares, aunque algunas discrepancias menores son notables en varios de los algoritmos. Idealmente, en el futuro un entorno más robusto sería una adición importante para el conjunto de herramientas necesitado. Poder estandarizar el proceso completo desde recolección de datos hasta presentación de resultados, hace que los resultados sean mucho más fácilmente reproducibles, un importante elemento en cualquier estudio estadístico. En una futura iteración de este proyecto, se recomienda utilizar el idioma programático R (paquete “lavaan”) para cumplir con este requisito y reducir problemas con la estabilidad del entorno programático.

3. Modelos de Análisis Factorial Confirmatorio (AFC)

Antes de la construcción de modelos SEM completos, se construyeron varios modelos de Análisis de Factor Confirmatorio (AFC, o sus siglas en inglés CFA). Esto se ha hecho para confirmar las hipótesis detrás de la construcción de cada una de las variables latentes exógenas. Es decir, los datos del ICCRR, del lado exógeno, y los datos de pérdida de EM-DAT, del lado endógeno, se han modelado independientemente para cada variable latente. Es importante tener en cuenta que, aunque todos estos conjuntos de datos tienen un gran número de variables, sólo unas pocas de estas variables tienen una cantidad suficiente de datos y una consistente presentación de informes para permitir un análisis estadístico. Por

ejemplo, está bien establecido que los datos de lesionados de EM-DAT se correlacionan con la cantidad y calidad de la asistencia médica en el país dado, y por lo tanto, es difícil de usar en el modelado ya que no hay manera efectiva de detectar y ajustar esta fuente de sesgo. Por esta razón, ha sido de suma importancia establecer primero modelos de AFC para cada una de las variables latentes que se utilizan en los modelos, con el fin de construir las variables latentes más fiables a partir de los indicadores disponibles.

Un AFC completo del ICCRR y de los datos de EM-DAT fue creado primero para determinar los errores básicos y las dificultades que se podrían esperar en la aplicación del modelo conceptual (ver figura 5.1). En la ICCRR, varias combinaciones de variables se exploraron con el fin de utilizar sólo los conjuntos de datos que no produjeron errores durante los intentos de modelado integrales. En los datos de pérdida de EM-DAT, se exploraron varias formas de modelar las relaciones entre las variables observadas y las variables latentes, con el fin de dimensionar mejor las pérdidas.

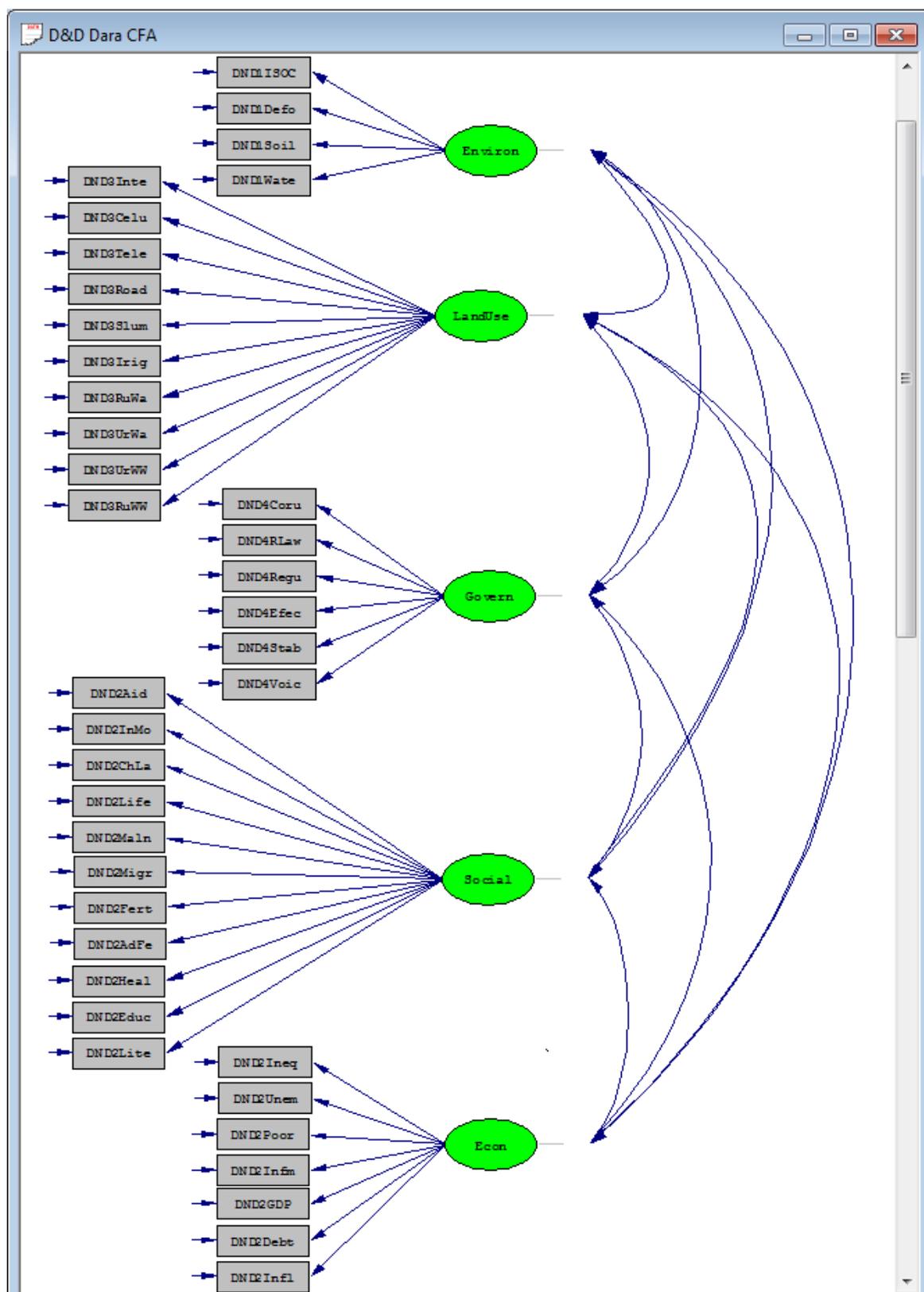


Figura 5.1. Modelo conceptual del AFC inicial del indicador ICCRR. Los rectángulos son variables observadas; los óvalos son conceptos latentes calculados usando AFC.

La próxima tabla enumera las variables latentes utilizadas por los modelos. Es importante notar que no todas estas variables analizadas fueron utilizadas en todos los modelos SEM por razón de limitaciones por datos, razones metodológicas, o razones técnicas del entorno de modelación LISREL que fue utilizado.

Categoría	Indicador	Lisrel nombre
EM-DAT Afectados	Earthquake	EmAffEar
	Flood	EmAffFlo
	Storm	EmAffSto
EM-DAT Costos	Earthquake	EmCstEar
	Flood	EmCstFlo
	Storm	EmCstSto
EM-DAT Cantidad	Earthquake	EmCntEar
	Flood	EmCntFlo
	Storm	EmCntSto
EM-DAT Muertes	Earthquake	EmDthEar
	Flood	EmDthFlo
	Storm	EmDthSto
EM-DA Sin casa	Earthquake	EmHlsEar
	Flood	EmHlsFlo
	Storm	EmHlsSto
EM-DAT Heridos	Earthquake	EmInjEar
	Flood	EmInjFlo
	Storm	EmInjSto
Gobernabilidad	Control of Corruption: Estimate	WgiCorru
	Government Effectiveness: Estimate	WgiEffec
	Political Stability and Absence of Violence/Terrorism, est.	WgiStabi
	Regulatory Quality: Estimate	WgiRegs
	Rule of Law: Estimate	WgiLaw
	Voice and Accountability: Estimate	WgiVoice
Exposición anual física relativa (/1M inh.)	Drought	GrRePhDr
	Earthquake	GrRePhEa
	Flood	GrRePhFl
	Landslide (Earthquake)	GrRePhLE
	Landslide (Precipitation)	GrRePhLP
	Cyclone	GrRePhCy
Clase relativa de riesgo de mortalidad	Drought	GrReMoDr
	Earthquake	GrReMoEa
	Flood	GrReMoFl
	Landslide (Earthquake)	GrReMoLE

	Landslide (Precipitation)	GrReMoFP
	Cyclone	GrReMoCy
Clase relativa de riesgo económico	Drought	GrReEcDr
	Earthquake	GrReEcEa
	Flood	GrReEcFl
	Landslide (Earthquake)	GrReEcLE
	Landslide (Precipitation)	GrReEcLP
	Cyclone	GrReEcCy
Vulnerabilidad humana	Drought	GrHuVuDr
	Earthquake	GrHuVuEa
	Flood	GrHuVuFl
	Landslide (Earthquake)	GrHuVuLE
	Landslide (Precipitation)	GrHuVuLP
	Cyclone	GrHuVuCy
DARA Valores crudos	ISO Certifications / GDP	DaD1ISOC
	Deforestation rate	DAD1Defo
	Soil degradation	DaD1Soil
	Water resources used	DaD1Wate
	Internet access	DaD3Inte
	Celular phone access	DaD3Celu
	Telephone access	DaD3Tele
	Road infrastructure	DaD3Road
	Population in slums	DaD3Slum
	Irrigation	DaD3Irig
	Fresh water access in rural areas	DaD3RuWa
	Fresh water access in urban areas	DaD3UrWa
	Waste water treatment in urban areas	DaD3UrWW
	Waste water treatment in rural areas	DaD3RuWW
	Control of Corruption	DaD4Coru
	Rule of Law	DaD4RLaw
	Regulatory quality	DaD4Regu
	Government effectiveness	DaD4Efec
	Political Stability and Absence of Violence	DaD4Stab
	Voice and Accountability	DaD4Voic
	Official development and aid assistance	DaD2Aid
	GDP growth	DaD2GDP
	Infant mortality rate	DaD2InMo
	Child labor	DaD2ChLa
	Life expectancy, both sexes	DaD2Life
	Malnourished population	DaD2Maln
	External debt	DaD2Debt
	Inflation rate	DaD2Infl
	Health spending	DaD2Heal
	Education spending	DaD2Educ
	Unemployment rate	DaD2Unem
	Income inequality	DaD2Ineq
Net migration rate	DaD2Migr	
Fertility rate	DaD2Fert	
Adolescent fertility rate	DaD2AdFe	

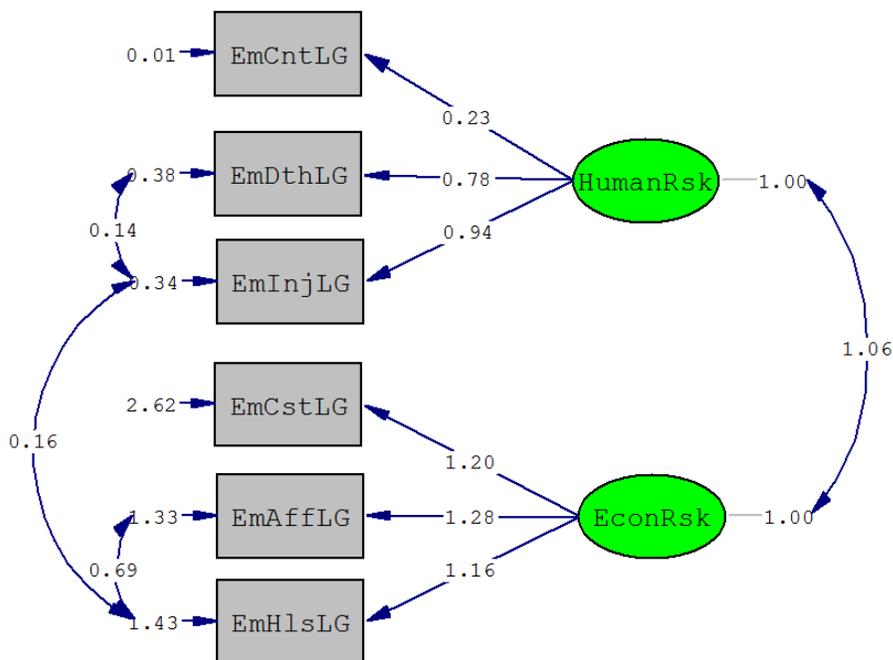
	Literacy rate	DaD2Lite
	Population below poverty line	DaD2Poor
	Informal Employment	DaD2Infm
DARA Valores normalizados	ISO Certifications / GDP	DND1ISOC
	Deforestation rate	DND1Defo
	Soil degradation	DND1Soil
	Water resources used	DND1Wate
	Official development and aid assistance	DND2Aid
	GDP growth	DND2GDP
	Infant mortality rate	DND2InMo
	Child labor	DND2ChLa
	Life expectancy, both sexes	DND2Life
	Malnourished population	DND2Maln
	External debt	DND2Debt
	Inflation rate	DND2Infl
	Health spending	DND2Heal
	Education spending	DND2Educ
	Unemployment rate	DND2Unem
	Income inequality	DND2Ineq
	Net migration rate	DND2Migr
	Fertility rate	DND2Fert
	Adolescent fertility rate	DND2AdFe
	Literacy rate	DND2Lite
	Population below poverty line	DND2Poor
	Informal Employment	DND2Infm
	Internet access	DND3Inte
	Celular phone access	DND3Kelu
	Telephone access	DND3Tele
	Road infrastructure	DND3Road
	Population in slums	DND3Slum
	Irrigation	DND3Irig
	Fresh water access in rural areas	DND3RuWa
	Fresh water access in urban areas	DND3UrWa
	Waste water treatment in urban areas	DND3UrWW
	Waste water treatment in rural areas	DND3RuWW
	Control of Corruption	DND4Coru
	Rule of Law	DND4RLaw
	Regulatory quality	DND4Regu
	Government effectiveness	DND4Efec
	Political Stability and Absence of Violence	DND4Stab
	Voice and Accountability	DND4Voic
EM-DAT Afectados	Earthquake	EmAfEaLG
	Flood	EmAfFILG
	Storm	EmAfStLG
EM-DAT Costos	Earthquake	EmCsEaLG
	Flood	EmCsFILG
	Storm	EmCsStLG
EM-DAT Cantidad	Earthquake	EmCnEaLG
	Flood	EmCnFILG
	Storm	EmCnStLG

EM-DAT Muertos	Earthquake	EmDtEaLG
	Flood	EmDtFILG
	Storm	EmDtStLG
EM-DAT Sin casa	Earthquake	EmHsEaLG
	Flood	EmHsFILG
	Storm	EmHsStLG
EM-DAT Heridos	Earthquake	EmInEaLG
	Flood	EmInFILG
	Storm	EmInStLG
Exposición anual física relativa (per/1M inh.)	Earthquake	GrExEaLG
	Flood	GrExFILG
	Cyclone	GrExCyLG

Tabla 5.1: Variables observadas en modelos SEM 2-9l, 2-9m, 2-9n

Después de esta etapa de modelado inicial, se generó un gran número de pequeños submodelos AFC para cada uno de los cuatro impulsores del ICCRR. Debido a la cantidad de datos disponibles sobre la planificación del uso de tierra y su suma importancia en relacionar gobernabilidad con condiciones ambientales, también se experimentó con crear modelos AFC para este quinto componente. Estos cinco componentes incluyen las condiciones ambientales, las condiciones sociales, las condiciones económicas, la planificación del uso de la tierra y los componentes de gobernabilidad.

Los datos de EM- DAT también fueron sometidos a varios modelos AFC para confirmar los fundamentos conceptuales utilizados para generar las variables latentes de riesgo social y riesgo económico. Por ejemplo, los datos de pérdida de mortalidad son generalmente aceptados como la variable de menor incertidumbre en la EM- DAT, mientras que las pérdidas económicas y las personas afectadas se supone que generalmente tienden a tener una variación más grande en los informes.



Chi-Square=8.42, df=5, P-value=0.13450, RMSEA=0.062

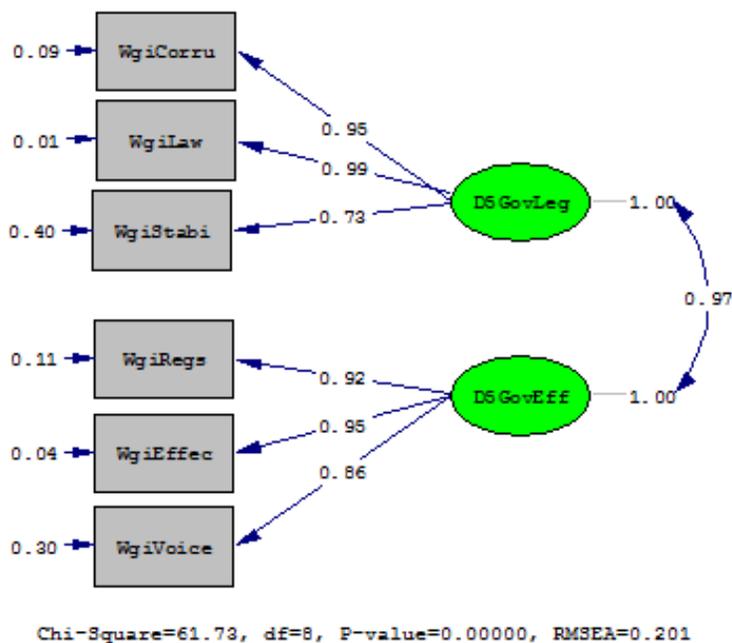
DATOS CLAVE PRODUCIDOS POR EL SISTEMA SEM LISREL:

Sample Size = 179
Degrees of Freedom = 5
Minimum Fit Function Chi-Square = 8.32 (P = 0.14)
Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 8.42 (P = 0.13)
90 Percent Confidence Interval for NCP = (0.0; 15.59)
Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.062
P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.33
Normed Fit Index (NFI) = 0.99
Goodness of Fit Index (GFI) = 0.98

Figura 5.2: Modelo AFC de riesgo humano y económico de EM-DAT. Los rectángulos son variables observadas; los óvalos son conceptos latentes calculados usando AFC.

En realidad, otro análisis de amplitud / intensidad del riesgo ha puesto de manifiesto que los datos de las personas afectadas tienen la posibilidad de ser la variable más fuerte en el conjunto de datos. Esto es debido a que es el dato más reportado en EM-DAT sobre todos los tipos de desastres. Es decir, todo desastre tiene personas afectadas, pero no todo desastre tiene muertos o casas destruidas o cualquier otra categoría de pérdida. Y, hasta pequeños desastres tienen algunos afectados, que nos da una muy importante vista a

pérdidas extensivas por los muchos pequeños desastres que ocurren constantemente. En general, se necesita hacer más trabajo en esta fase preliminar, ya que sería de gran beneficio para todos los análisis de estos conjuntos de datos.



DATOS CLAVE PRODUCIDOS POR EL SISTEMA SEM LISREL PARA FIGURA 5.3:

Sample Size = 179
Degrees of Freedom = 8
Minimum Fit Function Chi-Square = 71.46 (P = 0.00)
Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 61.73 (P = 0.00)
Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.20
90 Percent Confidence Interval for RMSEA = (0.16; 0.25)
P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.00
Normed Fit Index (NFI) = 0.96
Comparative Fit Index (CFI) = 0.96
Incremental Fit Index (IFI) = 0.96
Relative Fit Index (RFI) = 0.92
Goodness of Fit Index (GFI) = 0.89

Figura 5.3: Modelo AFC de gobernabilidad del ICRR. Los rectángulos son variables observadas; los óvalos son conceptos latentes calculados usando AFC.

En general, el proceso de discriminar entre las pérdidas sociales (muertes, heridos, afectados, etc.) y las pérdidas económicas (casas destruidas, los costos económicos directos e indirectos, destrucción de las fuentes de capital, etc.) se ve muy afectado por los tipos y la calidad de los datos disponibles en EM-DAT, y el rigor subsiguiente que pueden proporcionarle al análisis estadístico. Por otro lado, los datos ICCRR también presentan muchos problemas debido a que cada indicador tiene por lo menos unos pocos países en los que no se pudo crear un valor. Esto es a menudo debido a la falta de presentación de informes de los datos específicos o debido a cambios en las fronteras o unidades políticas durante los 40 años de la muestra de pérdidas. Debido a esto, diversos métodos de imputación de datos faltantes se han explorado, además de eliminar los países con datos insuficientes como se mencionó anteriormente.

Parte de este esfuerzo de modelado ha sacado a la luz las áreas que necesitan ser fortalecidas en los esfuerzos de recolección de datos, si se quiere ser capaz de utilizar estos datos de una manera más potente de la que se ha hecho hasta la fecha. Los modelos conceptuales vienen siendo mejor validados y por lo tanto más aceptados dentro de las comunidades pertinentes; también se va a ser capaz de definir mejor la terminología en una manera cuantitativa: para muchos de estos conceptos se puede modelar valores constantes típicos (o dentro de una distribución si se utilizan técnicas bayesianas dentro del SEM).

La EIRD de la ONU ha seguido avanzando en este esfuerzo, estandarizando y recopilando en forma comparable varias fuentes de datos sobre exposición y amenaza. Otras organizaciones internacionales también han empezado el proceso de hacer más fácilmente disponibles y regularmente revisados sus datos. Nuevos protocolos de intercambio de datos por Internet están habilitando qué modelos estadísticos se puedan actualizar automáticamente en lo que fluyen nuevos datos de sus fuentes. Estos incrementos harán posible que en el futuro podremos establecer modelos de análisis factorial que se acerquen mucho más a los conceptos de riesgo, las variables latentes que ocupamos tener bien concretadas.

4. Modelos de Ecuaciones Estructurales (SEM)

Los modelos SEM en que se busca establecer relaciones causales entre las variables latentes, sólo se llevaron a cabo después de determinar los modelos de AFC con el más alto grado de ajuste y la fidelidad a los modelos conceptuales subyacentes. En ese punto, se construyeron y probaron modelos simples SEM con las variables latentes y observadas que se utilizaron en los modelos AFC.

Varias iteraciones de transformación, modificación y validación se llevaron a cabo para asegurar que las muchas variables observadas no presentaran dificultades en el momento de la estimación de parámetros o de prueba para el ajuste del modelo. En muchos casos no fue posible estimar o ajustar los modelos con combinaciones específicas de las variables, a pesar de que individualmente o en modelos más sencillos, esas variables no presentaron ningún problema. Ya que se han mejorado los conjuntos de datos y los algoritmos de transformación, los modelos sencillos tuvieron la capacidad de proporcionar resultados libres de errores con crecientes grados de ajuste. A este punto, los modelos completos con todos los componentes necesarios para trazar un mapa causal completo a partir de los modelos conceptuales, no fueron posibles. Pero es razonable esperar que en un futuro próximo, los modelos completos con un alto grado de ajuste serán alcanzables.

La mayor y única limitación de este enfoque en la evaluación de las fuentes de riesgo de desastres, se refiere a la naturaleza limitada de las pérdidas por desastre y de los datos de desarrollo. En el caso de los datos de pérdidas, sólo hay disponibles datos de alta calidad para unas pocas décadas, y en la mayoría de los casos, esto se limita a un nivel de detalle nacional. En el caso de datos de desarrollo, hay algunos países para los que los datos se remontan a varias décadas, pero hay muchos más países en los que sólo uno o un número limitado de puntos de datos en series de tiempo están disponibles. Idealmente, un lapso de tiempo mucho mayor aumentaría significativamente la relevancia estadística del análisis. Aunque esto está aún a varias décadas de distancia, no es de ninguna manera menos importante la tarea de abordarlo en este punto: hasta lograr una mayor calidad,

cobertura y cantidad de datos de pérdidas y de desarrollo, se viaja más o menos en la oscuridad, en términos de las opciones para la modelación basada en datos sobre esos ámbitos.

C. Resultados

1. Modelación preliminar

Describimos tres variantes del modelo SEM con la combinación de mejor encaje de modelo y mejor aplicabilidad en el mundo real. Aunque el concepto de desarrollo como tal, fue difícil de modelar directamente, sí se pudo obtener niveles de encaje razonablemente buenos con el factor subyacente más importante del desarrollo- la gobernabilidad, y su relación con riesgo y el ambiente. Este resultado es particularmente importante en vista al cambio climático, y su obvia relación al desarrollo, y la gobernabilidad de los procesos de desarrollo. Con el cambio climático, es explícita la relación que el desarrollo tiene con el cambio del clima: el carbono dióxido emitido por el desarrollo es la causa directa, e antropogénica, del aumento en cantidad y amplitud de los desastres hidrometeorológicos. Sin adecuada gobernabilidad, hay poco que se puede hacer sobre la trayectoria de emisiones de carbono dióxido.

Se probaron más de cincuenta modelos distintos, cada uno explorado con varias permutaciones. También se iteró sobre siete versiones de datos, cada vez depurando problemas en los datos que habían resultado en fallas en correr los modelos. En todo momento fue necesario lidiar con el problema de lograr que los datos pudieran satisfacer los requisitos del sistema SEM, en este caso LISREL, permitiendo correr los modelos con los datos sin errores. Esta dificultad se debe en gran parte a la baja calidad de los datos disponibles o a limitaciones en cobertura entre países, como en muchos casos cada serie de datos solo cubre una porción de los países se tuvo que limitar el número de países utilizados en el análisis.

Al fin de este trabajo de investigación, los modelos de gobernabilidad, ambiente y el riesgo de desastres produjeron los resultados con el mayor grado de ajuste (véase las figuras 5.4, 5.5, 5.5 y tabla 5.1, abajo) de todos los modelos que fueron probados. De los tres variantes de este modelo, el de mayor complejidad (modelo 2-9l, Figura 5.4) obtuvo el mejor nivel de encaje y también provee el mejor poder explicativo. En términos de su resultado de RMSEA de 0.049 y su resultado NFI de 0.96 y CFI de 0.99, es el modelo con mejor encaje con los indicadores más comúnmente citados (ver Tabla 5.1, abajo).

El modelo más sencillo (modelo 2-9n, Figura 5.2) obtuvo un muy buen nivel de encaje, pero con menor poder explicativo debido a solo tener una variable de gobernanza y de riesgo. Este modelo no requirió de fijar parámetros entre componentes del modelo, por lo cual es el más cercano a la hipótesis inicial. Su indicador RMSEA de 0.056 es solamente un poco arriba del umbral de 0.05 que típicamente es considerado altamente contundente. Los indicadores de NFI y CFI están arriba del umbral de .95 (de 1.00) que se considera estadísticamente contundente (ver Tabla 5.1)

Es importante notar que para producir un modelo SEM hay que aplicar un modelo conceptual y ver si los datos lo respaldan. Este es un uso confirmatorio del análisis estadístico. Es muy fácil caer en querer “ajustar” un modelo a los datos, hasta que tenga un alto nivel de encaje, explorando cuales relaciones producen un mejor resultado estadístico. Este sería un uso exploratorio del análisis estadístico, y aunque produce buenos resultados estadísticamente, no necesariamente tendrá relación con el mundo real. Por esta razón, todos los modelos utilizados en este proyecto fueron basados en derivaciones del modelo conceptual de riesgo ya mencionado. Utilizando exposición a amenazas y gobernabilidad como las variables exógenas, y el ambiente y riesgo como las variables endógenas, se mantiene la estructura básica conceptual de GDR en que riesgo se produce de una relación entre exposición, amenaza y vulnerabilidad.

En estos modelos (ver figuras 5.4, 5.5, 5.6), tenemos varios componentes: 1. Los óvalos representan variables latentes (los conceptos que no podemos directamente medir), con

las verdes siendo variables latentes exógenas (las que influyen), y las amarillas variables latentes endógenas (las que son influidas). 2. Los rectángulos representan variables observadas, con las variables observadas exógenas en gris (condiciones que generan riesgo) y las endógenas en azul (pérdidas actuales por desastres).

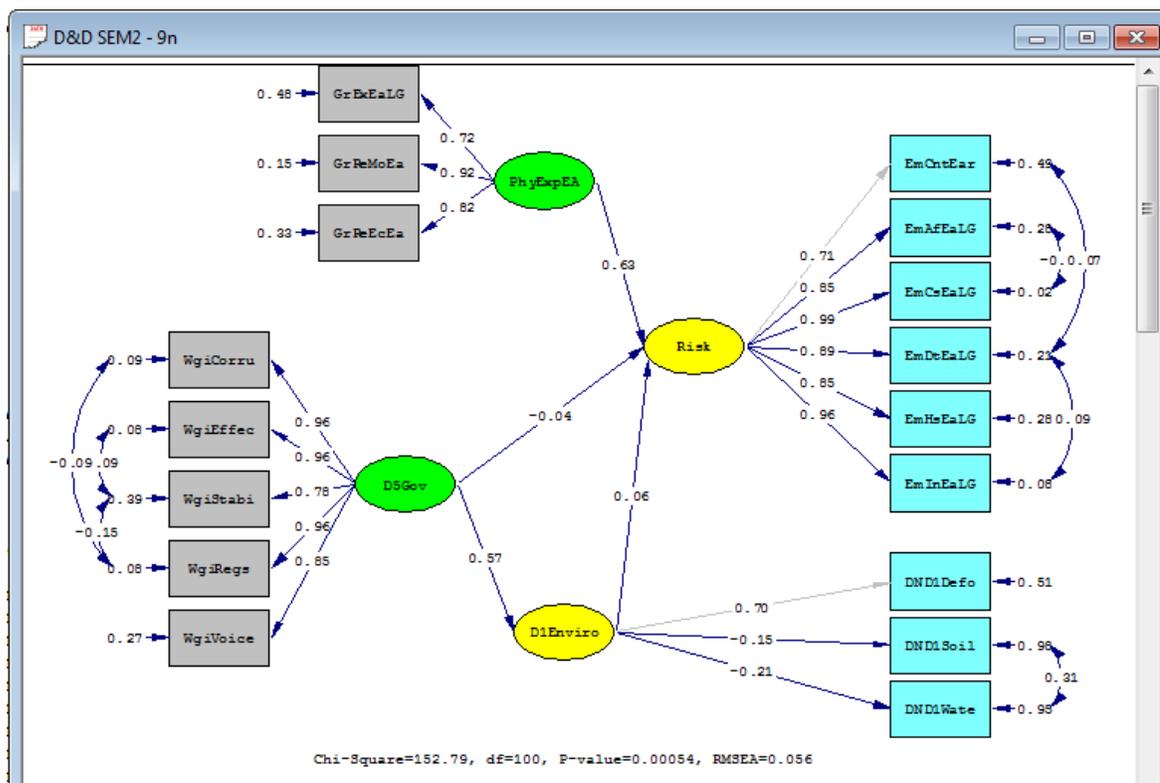


Figura 5.4. Modelo SEM de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre #2-9n (con una variable latente de gobernabilidad y una variable latente de riesgo).

Cada mini-modelo de un óvalo y sus rectángulos, representa un modelo de análisis factorial confirmatorio. Las variables observadas son explicadas por su relación con la variable latente que representa un concepto (por ejemplo, la exposición física ante la amenaza). Esto no se puede medir directamente, sino que tiene que ser medida través de variables observables (como niveles de lluvia o viento).

Las flechas entre los óvalos indican la dirección de la relación causal entre variables latentes, y el número en la flecha representa el parámetro por cual hay que multiplicar la variable exógena para obtener su influencia sobre la variable endógena (por ejemplo, la

gobernanza (D5Gov) tiene una fuerte influencia sobre el ambiente, pero no sobre riesgo), o de una variable endógena a otra variable endógena (por ejemplo, del ambiente (D1Enviro) a riesgo (Risk), en el modelo 2-9n). Las flechas también siempre van de las variables latentes (óvalos) hacia las variables observadas (rectángulos), como suponemos que la variable latente es la “causa” que se manifiesta en sus varias variables observadas. Por ejemplo, asumimos que elementos de la gobernabilidad actual (D5Gov) causan que indicadores de corrupción midan ciertos niveles observables.

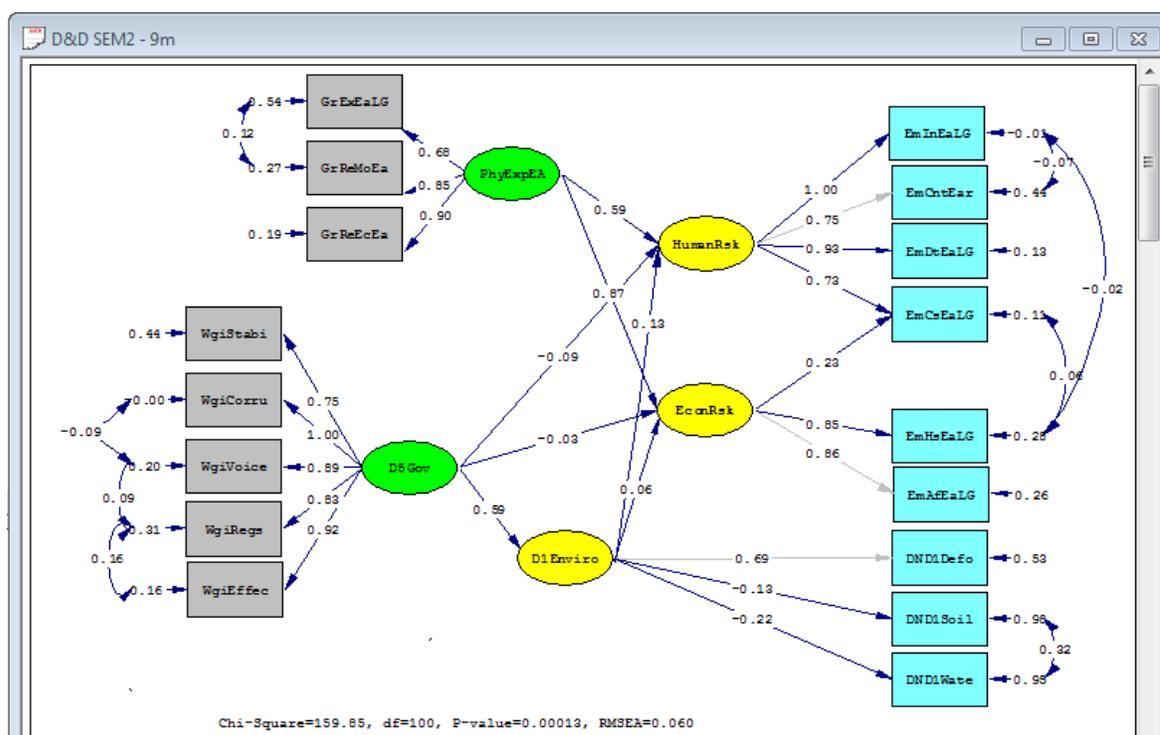


Figura 5.5. Modelo SEM de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre #2-9m (con una variable latente de gobernabilidad y dos variables latentes de riesgo).

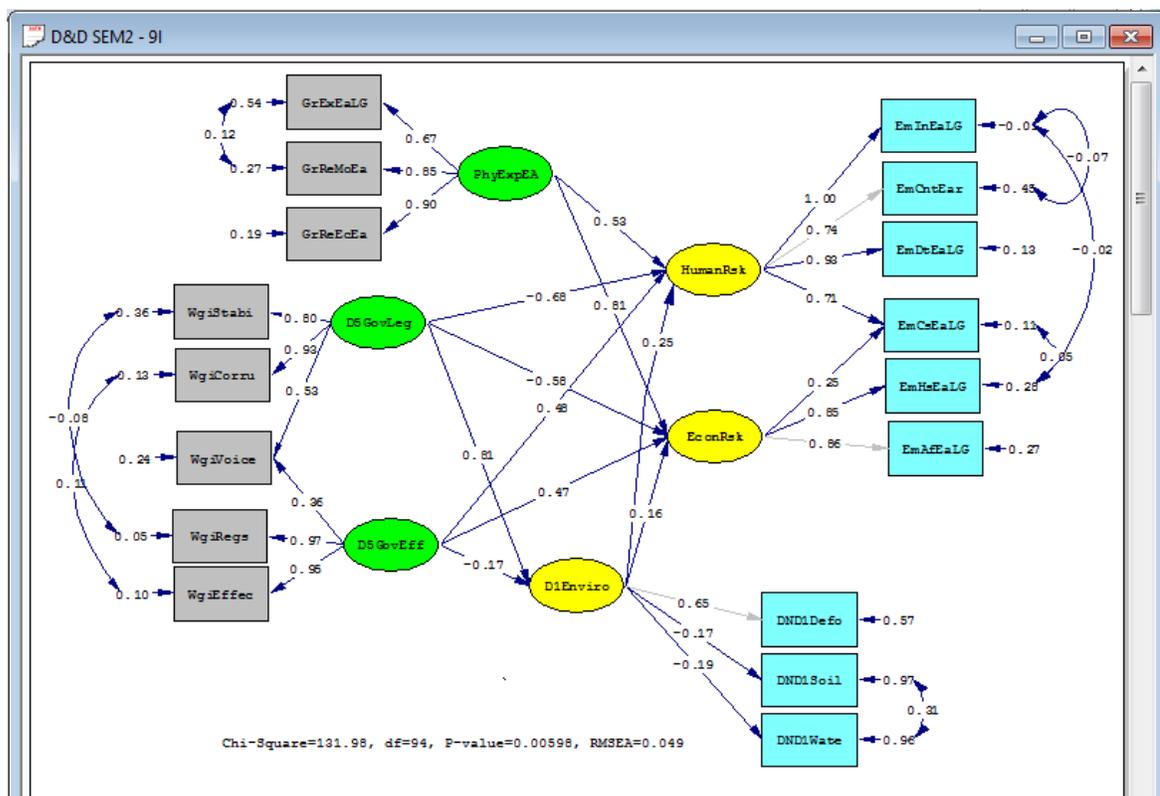


Figura 5.6. Modelo SEM de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre #2-91 (con dos variables latentes de gobernabilidad y dos variables latentes de riesgo).

Para los tres modelos, todos los coeficientes son estandarizados, es decir, fueron calculados en base a análisis de rutas y sus correlaciones. En el modelo 2-9n, podemos comparar los coeficientes más significativos entre las variables latentes endógenas y exógenas para rápidamente ver que la gobernanza influye en reducir riesgo de desastre por una carga muy significativa, -0.04, que es en esencia un poco menor a la carga por la cual el deterioro del medio ambiente influye el riesgo de desastre durante el periodo de observación (-0.06).

En términos de coeficientes significativos, mucho más importante es la grande influencia de la gobernanza sobre el deterioro del medio ambiente (0.57), que es solo un poco menor a la influencia que exposición a amenaza tiene sobre riesgo (0.64). Como los datos en el estudio (1970-2010) cubren un periodo muy limitado en la historia del desarrollo del planeta por humanos, no vemos una gran influencia negativa del medio ambiente sobre el

riesgo dentro del periodo estudiado. Pero, si podemos concluir que la gobernanza tiene grande influencia sobre el medio ambiente, y que es muy posible que en el futuro el medio ambiente degradado tendrá una mucha mayor influencia negativa sobre el riesgo de desastre, tal y como implican los estudios sobre cambio climático más recientes.

En este mismo modelo, 2-9n, vemos que la gobernabilidad solo explica -4% de la varianza directa (reducción) sobre el riesgo de desastre. Pero al mismo tiempo la gobernabilidad, por ruta indirecta del medio ambiente, explica 63% del aumento en riesgo de desastre (0.57+0.06), un factor idéntico a lo que influye la variable de control sobre nivel de exposición a amenaza (PhyExpEA). Este resultado es muy significativo en términos de indicar que es mucho más valioso asegurar que el medio ambiente se mantenga en un estado no deteriorado que intentar incidir en reducir el riesgo de desastre directamente.

Los otros dos modelos, 2-9l y 2-9m, apoyan estos resultados, pero con una etapa adicional de complejidad, buscando separar el riesgo a la vida (HumanRsk y EconRsk), y/o la influencia de la eficiencia (D5GovEff) de gobernanza versus la calidad de normas y seguimiento de la ley (D5GovLeg). En ambos casos, los resultados proveen más detalladas perspectivas a la interacción entre gobernanza y riesgo, pero por ser tan parsimonioso como el modelo 2-9n, no proveen el mismo nivel explicativo directo.

Al lado de todas las variables observadas hay una flecha entrando que representa el margen de error necesario para computar la matriz final de covarianza. Las flechas con arcos representan correlaciones entre variables necesarias para obtener el nivel de encaje. Para el modelo 2-9l y 2-9m, las correlaciones entre variables observadas fueron necesarios para razones de ajuste, y aunque se pueden justificar en términos de razones de interrelación, es difícil decir sin más evidencia que es correcto establecerlas en el modelo. Por esta razón el modelo 2-9n, que con menos variables tiene menos poder explicativo, pero al no requerir fijar relaciones entre variables observadas es mucho más fiel al modelo postulado.

Estadísticas de calidad de encaje de los tres modelos principales

Goodness of Fit Statistics	Modelo SEM		
	2-9n (1gob+1riesgo)	2-9m (1gob+2riesgo)	2-9l(2gob+2riesgo)
Degrees of Freedom =	100	100	94
Minimum Fit Function Chi-Square =	164.17 (P = 0.00)	170.09 (P = 0.00)	139.43 (P = 0.0016)
Normal Theory Wt Least Squares Chi-Square =	152.79 (P = 0.00054)	159.85 (P = 0.00013)	131.98 (P = 0.0060)
Estimated Non-centrality Parameter (NCP) =	52.79	59.85	37.98
90 Percent Confidence Interval for NCP =	(23.36; 90.18)	(29.28; 98.35)	(11.61; 72.39)
Minimum Fit Function Value =	0.98	1.02	0.83
Population Discrepancy Function Value (F0) =	0.32	0.36	0.23
90 Percent Confidence Interval for F0 =	(0.14; 0.54)	(0.18; 0.59)	(0.070; 0.43)
Root Mean Square Error of Approx (RMSEA) =	0.056	0.060	0.049
90 Percent Confidence Interval for RMSEA =	(0.037; 0.073)	(0.042; 0.077)	(0.027; 0.068)
P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) =	0.27	0.17	0.51
Expected Cross-Validation Index (ECVI) =	1.55	1.59	1.50
90 Percent Confidence Interval for ECVI =	(1.37; 1.77)	(1.41; 1.82)	(1.34; 1.70)
ECVI for Saturated Model =	1.83	1.83	1.83
ECVI for Independence Model =	23.83	23.83	23.83
Chi-Square for Independence Model =	3946.22	3946.22	3946.22
Independence AIC =	3980.22	3980.22	3980.22
Model AIC =	258.79	265.85	249.98
Saturated AIC =	306.00	306.00	306.00
Independence CAIC =	4050.32	4050.32	4050.32
Model CAIC =	477.36	484.42	493.30
Saturated CAIC =	936.97	936.97	936.97
Normed Fit Index (NFI) =	0.96	0.96	0.96
Non-Normed Fit Index (NNFI) =	0.98	0.97	0.98
Parsimony Normed Fit Index (PNFI) =	0.70	0.70	0.67
Comparative Fit Index (CFI) =	0.98	0.98	0.99
Incremental Fit Index (IFI) =	0.98	0.98	0.99
Relative Fit Index (RFI) =	0.94	0.94	0.95
Critical N (CN) =	139.15	134.34	155.28
Root Mean Square Residual (RMR) =	0.16	0.15	0.14
Standardized RMR =	0.061	0.059	0.046
Goodness of Fit Index (GFI) =	0.90	0.90	0.91
Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) =	0.85	0.85	0.86
Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) =	0.59	0.59	0.56

Tabla 5.2. Estadísticas de encaje del modelo computacional LISREL 8.8 para los modelos principales de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre. Medidas más contundentes y comúnmente utilizadas están espesadas con énfasis).

La Tabla 5.2 muestra las estadísticas de ajuste primarias para los tres modelos: 2-9n, 2-9m, 2-9l. La lista de lectura LISREL completa para los tres modelos se encuentra en el anexo B. Además, el anexo A contiene un listado completo de las variables utilizadas en el modelo, una útil referencia para poder rápidamente interpretar los gráficos de LISREL. Varios modelos de Análisis Factorial Confirmatorio (AFC) se crearon para desarrollar los componentes individuales de los factores latentes del modelo, y también se incluyen en el anexo correspondiente.

De las tres variantes del modelo SEM básico de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre, el menos sencillo (parsimonioso) obtuvo el mejor nivel de encaje y también provee el mejor poder explicativo. En seguida describimos los elementos detallados de este modelo, 2-9l. Un sub-set de los elementos de 2-9l se encuentra en los modelos 2-9m y 2-9n. En seguida interpretamos los elementos de este modelo, y por lo cual cubrimos el sub-set de datos y resultados en los modelos más parsimonioso 2-9m y 2-9n. Aunque 2-9l es un modelo más complejo, esta complejidad nos da importante información sobre todos los factores incluidos, por lo cual lo consideramos como tener el mejor poder descriptivo de los tres modelos de alto encaje.

2. Modelo SEM de Gobernabilidad, Ambiente y el Riesgo de Desastres (2-9l)

El Modelo SEM de Gobernabilidad, Ambiente y el Riesgo de Desastres 2-9l (figura 5.6) contiene tres variables latentes exógenas. Estas se refieren a las condiciones de gobernabilidad (D5GovLeg- Funcionamiento legal del Gobierno y D5GovEff- Eficiencia del Gobierno), con las del ambiente (D1Enviro) y las de riesgo social (HumanRsk), así como el riesgo económico (EconRsk) de pérdidas por desastres. La última variable toma en cuenta el nivel de exposición en función del tipo de riesgo, que en este caso específico es el riesgo de terremotos (PhyExpEA). Esta variable latente exógena está controlada por el nivel de exposición y amenaza para cada país en el modelo.

En este modelo, el ambiente se ve afectado por las variables de gobernabilidad, y a su vez estas variables afectan a las dos modalidades del riesgo de desastres modelados latentemente (social /humano y económico/de subsistencia). Un resultado interesante de este modelo es el alto grado de ajuste que puede lograrse mediante la estructuración de la variable latente al ambiente, como causalmente influido por la gobernanza. Estos cambios sutiles y su interacción con la complejidad de las relaciones causales en un marco probabilístico, son en sí mismos una interesante evidencia de sustento de los supuestos de la de los modelos conceptuales de GRD, en particular la relación entre pérdidas por desastre y la vulnerabilidad.

Vemos que la gobernanza es un conductor implícito del riesgo, a menudo trabajando a través de los otros conductores del mismo riesgo. En este caso, la falta de gobernanza adecuada promueve directamente una pérdida en servicios ambientales que han naturalmente aumentado exposición y vulnerabilidad. Por ejemplo, la deforestación promueve un incremento en amenaza de deslizamientos después de fuertes lluvias, y pérdidas de zonas de manglares a usos económicos promueve erosión y más alta exposición a oleaje.

La variable exógena latente PhyExpEA representa una convolución de exposición física y el nivel de intensidad de riesgo bajo el que está la población relevante y los activos productivos. Sus tres partes constitutivas se obtuvieron a partir de la PREVIEW Global Risk Model 2011 de la EIRD de las Naciones Unidas. Estos componentes son: GrExEaLG (exposición física anual relativa), GrReMoEa (clase de riesgo de mortalidad relativa) y GrReEcEa (clase de riesgo económico relativo). Estas variables se utilizan para controlar cuanto un determinado país irá a ser afectado por fenómenos naturales potencialmente dañinos, de manera que las pérdidas se puedan escalar, con base en la influencia que los factores del riesgo puedan desempeñar en el escenario general de riesgo.

Estos componentes son de una amenaza específica, y representan el nivel de riesgo físico o económico de las pérdidas por un terremoto en cada uno de los países para los cuales se

calcularon los valores. Se supone que los datos sobre terremotos promovieron el mejor encaje del modelo por la más alta estandarización en su recolección y el umbral más fijo sobre sus niveles de intensidad y daño. Se espera poder utilizar otras series de datos cubriendo las otras principales amenazas en lo que los datos puedan ser depurados a un nivel similar a los datos disponibles para estos eventos geológicos.

La variable latente exógena D5GovLeg representa la capacidad del gobierno nacional para establecer una cultura de la legalidad que lleva a un entorno en el que se siguen y se hacen cumplir de manera justa y adecuada reglamentos que sean bien diseñados. La variable latente exógena D5GovEff representa la capacidad del gobierno nacional para ser eficaz en la administración y aplicación de la gobernanza. Tiene tres variables observadas que se obtuvieron de los Indicadores Mundiales de Gobernabilidad: WgiRegs (calidad del marco regulatorio), WgiEffec (eficacia del marco normativo) y WgiVoice (capacidad de los ciudadanos para hacer valer sus derechos).

La variable latente endógena D1Enviro representa el nivel de degradación del ambiente y la calidad de la protección del mismo. Se constituye a partir de cuatro variables observadas de diferentes fuentes: DND1ISOC (prevalencia de las certificaciones ambientales ISO), DND1Defo (nivel de deforestación), DND1Soil (nivel de erosión del suelo), DND1Wate (nivel de sobreexplotación de los recursos hídricos). La modelación de análisis factorial indicó que la combinación de estas variables explica mejor la degradación a nivel nacional.

Como en muchas de las series de variables utilizadas, aquí podemos ver que a veces las variables más importantes vienen de fuentes distintas y a veces aparentemente no relacionados, pero que cuando son utilizados en conjunto mejor proveen cada una de las dimensiones que afectan la variable latente. Por ejemplo, la prevalencia de certificaciones ambientales ISO parece un indicador muy abstracto para medir la degradación ambiental. En realidad, es un razonable proxy, para medir el nivel de sofisticación en las medidas de protección ambiental, que en sí es directamente influido por las variables latentes exógenas de gobernanza.

La variable latente endógena HumanRsk representa el nivel promedio de riesgo personal o social en el que vive la población. Se constituye a partir de tres variables observadas relacionadas con las pérdidas por terremoto en el periodo 1971-2010 obtenidos de EM-DAT: EmDtEaLG (número de defunciones), EmInEaLg (número de heridos) y EmCntEar (número de desastres por terremoto). La variable EmCsEaLG (costos económicos totales de los desastres del terremoto) también fue incluida en el componente HumanRsk, aunque esto no es tan intuitivamente obvio: se descubrió que al incluir esta variable dentro de esta variable latente se incrementa el encaje total del modelo. Esto nos impulsó a buscar razones por lo cual esta relación debería existir, para asegurar que el cambio sea basado en un uso confirmatorio y no exploratorio como discutido anteriormente. A diferencia de otros tipos de desastres, las pérdidas económicas en los terremotos son principalmente de edificios dañados o destruidos, y cuanto mayor sea la cantidad y el nivel de dicha destrucción, mayor será la pérdida de vidas que se esperaría. Es decir, suponemos que especialmente para terremotos, las pérdidas económicas son de las mejores variables observadas para calcular pérdidas humanas.

La variable latente endógena EconRsk representa el nivel de riesgo económico en que la población está sometida en cuanto a las posibles pérdidas de los activos físicos o productivos. Esto incluye las pérdidas de viviendas, estructuras comerciales, la infraestructura pública y los ingresos / medios de vida. Se constituye a partir de tres variables observadas representativas de tales pérdidas causadas por terremotos, como se recoge en la EM-DAT: EmHsEaLG (número de personas sin hogar), EmAfEaLG (número de personas por desastre) y EmCsEaLG (costos totales relacionados con desastres por terremoto).

3. Resultados de estadísticas de encaje

La tabla 5.1 escribe las estadísticas de encaje de los tres modelos, con base en la estimación de parámetros y encaje de LISREL 8.8. Se nota que para obtener estos valores, los modelos

tuvieron que ser maximizados en términos de encaje¹, tomando en cuenta la mayoría de los principales ajustes que mejorarían el Chi-square con menos afectación a los grados de libertad (“degrees of freedom”).

El modelo 2-9I claramente demuestra el mejor encaje entre los varios índices comunes, aunque tiene un RMSEA menor a 0,05, el umbral aceptado para un buen encaje. El p-value es de 0,51, también vemos que no tiene resultados tan contundentes con el AGFI (0,86) o su variante PGFI que mide que tan parsimonioso es el modelo (0,56). En general, podemos decir que el modelo 2-9I demostró un nivel alto de encaje, aunque el modelo se penaliza en términos de complejidad.

Dentro del modelo y sus resultados totales, podemos explorar algunas de las relaciones más contundentes entre las variables. Recordando que cada modelo con alto encaje solo es uno de muchos posibles modelos que pueden resultar en dicho nivel de encaje, es importante ver el modelo como solo una interpretación validada, y no la interpretación exclusiva del fenómeno observado. Asumiendo que la realidad funciona en una forma más o menos similar a lo que simula el modelo, podemos entonces derivar que las relaciones más contundentes dentro del modelo son los puntos de más importancia para hacer cambios en el mundo que reducirán las pérdidas por desastres.

Para el modelo 2-9I, la relación causal más contundente y obvia es entre la gobernanza, y su influencia sobre el medio ambiente y riesgo. Es muy posible que la falta de gobernanza adecuada promueve pérdidas en servicios ambientales que supera todas las formas en que la gobernanza busca mitigar o reducir los riesgos que están ligados a estos servicios ambientales. El caso más ejemplar es el del cambio climático: claramente podemos ver en los resultados más recientes del IPCC que la falta de gobernanza del medio ambiente muy rápidamente va a crear un costo económico que superará los presupuestos totales actuales

de gobiernos para incidir en la reducción de riesgos y atención a emergencias. Es decir, la mala gobernanza crea más riesgo de lo que resuelve.

Para interpretar estos resultados en más profundidad, se recomienda a personas con un nivel alto de manejo estadístico, a referirse al documento “Linear causal modeling with structural equations” de Stanley Mulaik (Mulaik, 2009). Para personas con niveles de conocimiento estadístico más típicos o para un rápido resumen de conceptos básicos y cómo leer los resultados de LISREL, se recomienda referirse al documento “LISREL for dummies” de Harry Ganzeboom (que se puede encontrar en línea (http://www.harryganzeboom.nl/teaching/LISREL_for_dummies_English.pdf)). Las referencias y bibliografía consultada también contienen varios muy buenos documentos sobre SEM y su implementación en LISREL.

VI. Implicaciones nacionales y sub-nacionales en Latinoamérica

Esta parte del estudio busca asociar a los resultados del modelo SEM de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre, con los entornos nacionales de dos países con contrastantes configuraciones del riesgo, en la región centroamericana. Dentro de los países centroamericanos, vemos una gran variedad en términos de geografía, clima, amenaza, vulnerabilidad, grupos sociales, capacidades gubernamentales, etc. Tómese los casos de Panamá, con sus bajos niveles naturales de exposición física a sismos y huracanes y altos puntajes en indicadores de desarrollo. Hasta El Salvador, el territorio más pequeño de la región pero al mismo tiempo el más densamente poblado de todos también, pasando por los demás países, a modo de referencia (CEPREDENAC, 2010). Entre esta variedad de casos centroamericanos se eligieron dos que puedan demostrar las configuraciones, sus diferencias y relaciones, y las formas en que son ejemplares de los riesgos enfrentados en los otros países de la región.

Se ha elegido a Costa Rica como ejemplo de un país ya bastante avanzado en su nivel de desarrollo, pero en el cual condiciones de riesgo extensivo todavía componen una buena parte de las pérdidas por causa de desastre, especialmente en zonas rurales y/o marginalizadas. En sí, Costa Rica queda en el medio del grupo en términos de riesgo, particularmente por su alta exposición física a sismos, pero al mismo tiempo tiene algunos de los indicadores de desarrollo más altos de la región. A eso sumamos una cultura y normativa de gestión de riesgo contra sismos en particular debido a la historia de su antigua capital de Cartago.

Este se contrasta con Guatemala, un país con sumamente bajos niveles de gobernabilidad, con un deterioro del ambiente bastante avanzado, y una configuración multiamenaza substancial. Guatemala queda al fondo del grupo que en la región muestra altos niveles de vulnerabilidad y exposición y puntajes bastante bajos en resiliencia o capacidad gubernamental.

A. Costa Rica

1. Contexto

Atravesada por fallas, Costa Rica es el lugar de encuentro de dos principales placas tectónicas y un riesgo sísmico que casi cubre todo el país. Su territorio de 51 000 km² es en gran parte montañoso, con zonas tropicales claramente diferenciadas en el este y sur y un clima más semiárido en el noroeste. Su población de 4,8 millones de habitantes se concentra en el Valle Central y en él se ubica la capital. Hay muchos pequeños pueblos agrícolas dedicados tanto a la agricultura comercial como de subsistencia. Los desastres asociados con la amenaza sísmica reciben la mayor atención en el país, pero con frecuencia las pérdidas recurrentes de pequeña escala se deben a inundaciones y deslizamientos de tierra (Estado de la Nación, Costa Rica, 2010).

Costa Rica tiene una larga historia de amenaza sísmica. La destrucción de la antigua capital, Cartago, por un terremoto en 1910, marcó el comienzo de un largo proceso de concienciación hacia la mitigación y prevención del riesgo sísmico. En la Gran Área Metropolitana se introdujeron y aplicaron rigurosamente estrictos códigos de construcción basados en modelos estadounidenses. No obstante, esto incrementó la tendencia de viviendas y asentamientos informales, presentes tanto en territorios urbanos como rurales, particularmente en zonas de menor accesibilidad habitadas por los grupos marginados de la población. La sequía puede afectar partes del país con bajo acceso a la irrigación. Recientemente, las fuertes lluvias, falta de infraestructura adecuada y el drenaje insuficiente han provocado graves pérdidas a la inversión pública en puentes y carreteras.

El riesgo de desastre en Costa Rica se concentra en parte importante en los eventos sísmicos que destruyen edificios directamente y generan deslizamientos que causan la destrucción indirectamente. Estos se ven agravados por la deforestación y la saturación del suelo por lluvias. El terremoto de Cinchona de 2009 no sólo dio lugar a un daño sísmico importante, sino también a extensos deslizamientos de tierra, y juntos hicieron necesaria

la reubicación de casi toda la comunidad de Cinchona, un proceso que ha tomado varios años y todavía tiene tareas pendientes (ECLAC, 2003).

Otra fuente de riesgo de desastre involucra el aumento en los niveles de amenaza por inundación. Esto resulta en gran parte del intenso desarrollo urbano en los sectores altos y medios de las principales cuencas del país, así como por prácticas agrícolas sobre grandes extensiones de las mismas cuencas, donde ambos procesos se caracterizan frecuentemente por la carencia de criterios de sostenibilidad. Muchos de los desplazamientos inducidos por una mayor frecuencia en los eventos de inundación, se producen lentamente, dado que es solo después de algún tiempo que las familias finalmente son expulsadas de sus lugares de residencia, propia o no, por los impactos acumulados de estos eventos dañinos. Se da el asentamiento y reasentamiento informal en áreas propensas a las inundaciones, motivado por su nulo o bajo costo. Además por la cercanía de este tipo de sitios a las opciones que tienen estas personas como medios de vida, quienes están usualmente vinculadas a la economía informal como micro comerciantes ambulantes y a las labores domésticas. Todo ello crea un problema recurrente de desarrollo informal del territorio y pérdidas materiales por desastres (Estado de la Nación, Costa Rica, 2010).

2. Configuración de gobernabilidad, ambiente y riesgo

Como un país bastante avanzado en el proceso de desarrollo humano, Costa Rica ha sido un referente destacado en la región ya por varias décadas. Pero, al mismo tiempo sus avances no siempre han sido consistentes en todos los entornos de desarrollo. Cuando se agrega la etapa multiamenaza al país, se observa una compleja serie de relaciones entre geografía, clima, uso del suelo, e infraestructura. Las configuraciones del riesgo al nivel sub-nacional se destacan por zonas con alto riesgo sísmico, otras con alto riesgo de inundación, y todavía otras con alto riesgo de deslizamiento. También a estas se les agrega la sequía en la región noroeste, y de vez en cuando una tormenta tropical, que

principalmente se manifiesta por intensas cantidades de lluvia, pero sí ha causado daños por altos vientos en algunas ocasiones (Peduzzi, 2005; UNEP et al, 2012).

Las normas y el seguimiento de los códigos sísmicos ya por muchos años han producido un inventario de viviendas y edificaciones bastante bien construidas, por lo cual, las pérdidas por terremoto han ido disminuyendo. Del otro lado, el mismo proceder en relación con las normas y códigos para infraestructura vial, así como el desarrollo no planificado de la red vial, han aumentado el riesgo de pérdidas asociadas con infraestructura específica, dificultando la circulación de personas y bienes. Un sencillo ejemplo es cuando un puente, que es el único acceso a algún pueblo, es tumbado por una inundación.

Entre los países centroamericanos, Costa Rica ha gozado por muchos años de uno de los niveles educativos más altos de la región. No obstante, este alcance se debilita a partir del ciclo diversificado, dando lugar a que los estudiantes no culminen el bachillerato por causas diversas; entre ellas la necesidad de colaborar en el mantenimiento del hogar y la dificultad de cubrir el costo de asistencia al centro educativo. Especialmente, la dificultad que tiene el sistema educativo de brindar opciones al estudiante en posición de vulnerabilidad, que le hagan más receptivo al proceso educativo y/o lo retengan en alguna de las modalidades alternativas de educación secundaria. En este sentido, persiste una significativa desigualdad de opciones entre el medio rural y el medio urbano

Junto con los patrones migratorios que han caracterizado al país en las últimas tres décadas, especialmente dentro del Valle Central, lo mencionado viene a promover condiciones diferenciales de riesgo entre las poblaciones mejor establecidas y aquellas que son económica y educativamente más vulnerables. Junto con las carencias ya mencionadas de infraestructura vial, las personas más marginadas se encuentran comúnmente en una condición en la que deben elegir entre vivir en un lugar riesgoso o estar a una distancia no viable a las fuentes de trabajo que encuentran en la ciudad y de las que dependen cotidianamente. En muchos casos, estas personas están desempeñándose en el sector informal de la economía y sin cobertura de prestaciones sociales.

El modelo SEM de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre indica que cuando hay un más bajo nivel de gobernabilidad, el ambiente después de un tiempo denota caídas en sus índices que suelen asociarse causalmente con incrementos en el riesgo de desastres. En Costa Rica, problemas relacionados con la falta de eficiencia y la corrupción en el ejercicio de la función pública fomentan una aplicación desigual de las normas. Esto acaba por afectar al ambiente en variadas formas, promoviendo diferentes manifestaciones de deterioro.

Como muchos países en proceso de desarrollo, la calidad y eficiencia de la infraestructura, en particular la infraestructura vial municipal y rural, es muy baja. Esto se contrasta con un nivel relativamente alto de manejo ambiental en algunos entornos pero no en otros. Los resultados del modelo 2-9l encajan con esta realidad. La gobernanza es más efectiva en establecer normas legales que en su eficiencia. Paradójicamente, Costa Rica se encuentra promoviendo proyectos públicos con bajo costo/beneficio, permitiendo desarrollo urbano y rural no sostenible, y al mismo tiempo protegiendo zonas naturales con fuertes normativas de protección, como los parques y reservas biológicas. En algún punto, la gobernanza tiene que regular el resto del entorno nacional en una forma igualmente sostenible que el manejo de los parques y reservas, para proteger la vida adentro, como afuera, de las áreas ya protegidas.

En las zonas urbanas, especialmente en el Valle Central, se aplica con cierta rigurosidad la normativa de la construcción de infraestructura. Esto se debe en parte al valor más elevado de los terrenos, a que hay más propietarios con mayores niveles de instrucción e ingresos disponibles para invertir en sus viviendas, mayor oferta de opciones de financiamiento, (y sus requisitos legales), y oficiales locales mejor capacitados. En contraste, en las zonas rurales en general, hay menos control de parte de los gobiernos locales y mayores facilidades para ignorar la normativa del sector constructivo. A menudo se aplican métodos más artesanales o materiales inadecuados. Las áreas urbano-marginales son precarios y cuarterías, a veces coincidentes en el mismo entorno, pero que son formas distintas de una misma condición de exclusión social y sobrevivencia cotidiana. Paralelamente, cada vez

más se están estableciendo precarios en áreas rurales, desplazados por el uso intensivo del suelo en las ciudades principales e intermedias del país.

Estas modalidades expresan lo disparate de la condición del riesgo entre diferentes grupos sociales y económicos y no sólo ocurren entre las zonas rurales y las urbanas, sino dentro de cada una de ellas. En ese sentido, las zonas urbanas se destacan por los más altos niveles de inequidad social y económica en el país. En el Valle Central se encuentra un buen número de precarios, todos casi sin excepción en zonas de alto riesgo como cuencas degradadas, laderas inestables, y/o áreas con bajo nivel de seguridad.

El valor de la tierra, especialmente para uso residencial, tiene que ver en parte con sus características geográficas, que promueven intrínsecamente un menor deterioro (o donde no importa tanto el deterioro) en el ambiente. Al mismo tiempo toman en cuenta las limitaciones de la infraestructura vial (es decir, quedan cerca de los mejores puntos de acceso a la red de vías). Por ejemplo, propiedades ideales se encuentran en pendientes leves o moderadas, pero lo suficiente para evitar el riesgo de inundación. Además, promueven un mayor nivel de seguridad con guardas privados, muros, cámaras, distanciamiento de precarios, etc.

Los pobres e inmigrantes suelen alojarse donde les alcance el presupuesto, cualquiera que sea el lugar. Como hay poco terreno barato cerca de sus lugares de empleo o actividad comercial, casi siempre irregular, su mejor opción típicamente es vivir en un asentamiento donde se instalan en habitaciones llamadas “tugurios”, porque se construyen con materiales de desecho, por tanto, sin costo, y generalmente, invadiendo propiedades ajenas, ya sea públicas o privadas. Allí por lo menos reciben algún nivel de apoyo por familiares o amistades hasta que los recursos sean suficientes para poder salir de dichas condiciones, si les es posible. Muchas familias no tienen nunca esa opción, siendo su situación igual o más grave que la de las personas que habitan en cuarterías urbanas, dentro de terrenos que pertenecen a propietarios que les arriendan una habitación. En ambos casos, se trata de grupos de población que casi siempre comparten condiciones

similares de vulnerabilidad ante las amenazas más comunes. Si hubiese una mejor infraestructura vial (y así un menor nivel de congestionamiento), mucho más terreno con bajo nivel de riesgo estaría disponible para gente de menor capacidad económica. Por ejemplo, de aumentar la velocidad media durante lapsos de alto volumen de tráfico a un promedio de 40 kilómetros por hora, aumentaría al doble la distancia promedio a la que las personas podrían vivir y llegar a sus trabajos en un plazo razonable.

La demanda de habitaciones en arrendamiento en la modalidad de cuarterías, especialmente por parte de la población inmigrante y de costarricenses de pocos ingresos, fomenta que se violen todos los códigos de habitación, construcción y salud pública. Este tipo de modalidades de arrendamiento son abundantes en la actualidad, y sus habitaciones de alquiler se construyen lejos del ojo público, a menudo ocultas tras fachadas de viviendas que sí atienden la normativa. Se desconoce cuántas cuarterías alberga la GAM.

En términos del modelo SEM de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre, bajos puntajes en gobernabilidad no necesariamente influyen de forma directa sobre el ambiente. Es probable que esto actúe a través de otras variables intermedias, es decir, factores subyacentes como: el manejo de suelos; la calidad y seguimiento de normas y reglamentos; y condiciones socio-económicas. A este punto, la modelación SEM no ha logrado incorporar estos otros componentes latentes del riesgo con un nivel de encaje aceptable. Pero al analizar el entorno sub-nacional costarricense, podemos claramente ver algunas de las formas en las cuales relaciones causales entre gobernabilidad y riesgo de desastre se desencadenan por parte de estos factores ya mencionados, y que en sí mismos también influyen al entorno natural de forma que hacen propicio el riesgo.

Por ejemplo, mucho del riesgo latente acumulado en el Valle Central tiene que ver no tanto con el más extenso riesgo de sismos, sino que se manifiesta muchas veces en pequeños y medianos eventos asociados con condiciones de exposición y vulnerabilidad, especialmente a eventos socio-naturales. Estos eventos socio-naturales incluyen

deslizamientos causados por deforestación e inundaciones causadas por sistemas de drenaje mal diseñados o construidos.

3. Datos clave

La exposición de la población de Costa Rica a desastres es, en términos relativos, la más alta de todos los países estudiados (figura 6.1). Esto se debe en gran medida a la amenaza casi omnipresente de los terremotos. Otras amenazas también tienen niveles razonablemente altos de exposición, incluyendo deslizamientos de tierra, ciclones, sequías e inundaciones. En términos absolutos, el nivel total de exposición de las personas está en el rango medio de los países estudiados. El análisis sub-nacional de las viviendas destruidas demuestra un amplio rango o gama de niveles de pérdidas en todo el país. Algunas de las áreas menos desarrolladas y más remotas han sufrido las mayores pérdidas agregadas sobre la muestra de 43 años tomada de DesInventar. Muchas de las pérdidas corresponden a eventos intensivos a gran escala, pero muchas acumulan el daño a lo largo del tiempo, con pérdidas reiteradas que resultan en el deterioro de los medios de vida. Esto inevitablemente lleva en algún punto a la migración o al desplazamiento.

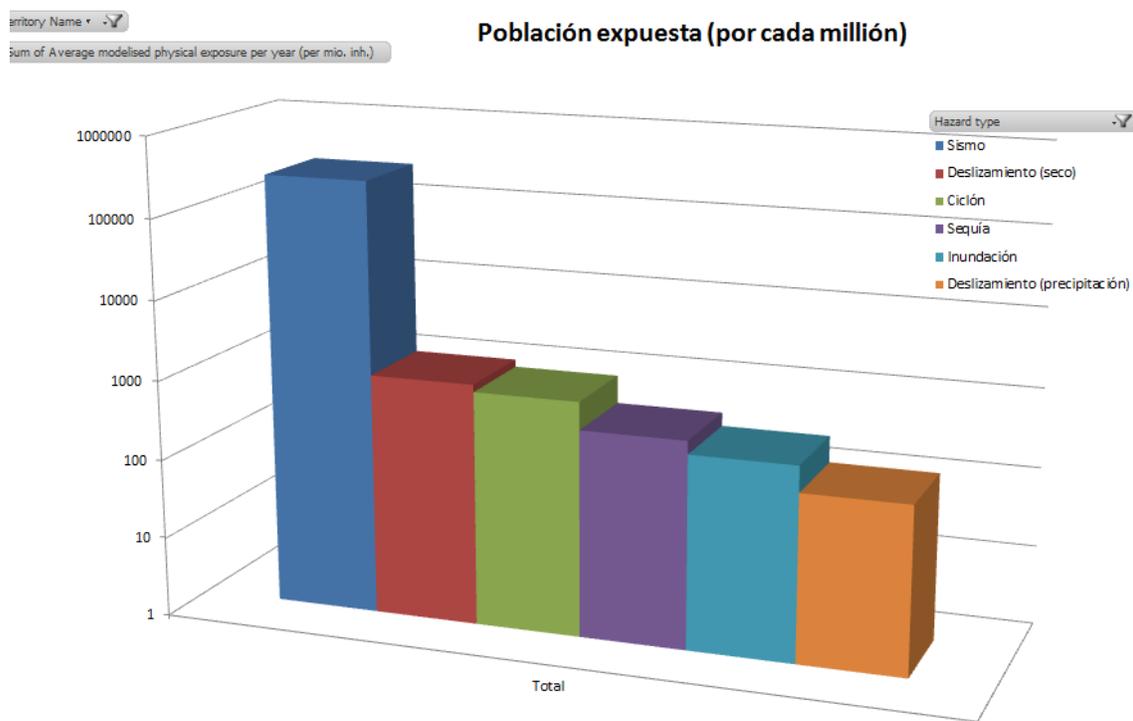


Figura 6.1. Exposición relativa a las amenazas en Costa Rica (por millón de habitantes) (Fuente: Modelo GRID, PNUMA. 2011).

Los datos de EM-DAT para Costa Rica incluyen cifras de damnificados, registradas especialmente en el caso de grandes eventos con muertes u otros efectos sustanciales (ver tabla 6.1 y figura 6.2). Los promedios generales de damnificados tanto en el caso de los terremotos como de eventos hidrometeorológicos, suman en conjunto un poco más de un millar de personas al año. Aquí vemos las diferentes configuraciones de riesgo, intensiva para sismos y extensiva para eventos hidrometeorológicos: las pérdidas por sismo se concentran alrededor de unos pocos eventos grandes, y los asociados con inundaciones y tormentas son más consistentes.

Tipo de desastre	Periodo	Damnificados anualmente	Afectados anualmente	Muertos anualmente
Sismo	1970-2010	439	3,533	3.0
Inundación	1970-2010	759	13,196	3.2
Deslizamiento- seco	1970-2010	0	0	0.0
Deslizamiento- precipitación	1970-2010	0	5	0.2
Tormenta	1970-2010	159	22,203	2.3
Volcán	1970-2010	0	1,718	0.0
	1970-2010	1,357	40,655	8.8

Tabla 6.1. Cifras de damnificados, Costa Rica, 1970-2010, en EM-DAT (Fuente: EM-DAT, base de datos de pérdidas por desastre)

El riesgo de deslizamientos de tierra, una fuente frecuente de desplazamiento, no está bien representado en EM-DAT debido a los criterios mínimos de registro establecidos. Esto hace que sea difícil cuantificar el nivel de riesgo asociado con estos muchos eventos de micro-escala propios de áreas muy delimitadas. Los tres modelos 2-9l, 2-9m, 2-9n todos indican un incremento en degradación ambiental al mismo tiempo que la gobernanza reduce riesgos a desastre: en el caso de Costa Rica, la gobernanza ha influido en reducir el riesgo sísmico utilizando normas de construcción, pero al mismo tiempo la degradación del medio ambiente significa que las pérdidas por eventos hidrometeorológicos ahora tienen un promedio más alto que pérdidas por sismos. Utilizando estos resultados de los modelos SEM, podemos inferir que las pérdidas actuales por deslizamiento son altamente influidas por un similar nivel de exposición a eventos hidrometeorológicos, y al mismo tiempo altamente influidas por degradación en servicios ambientales que naturalmente protegen contra deslizamientos. Utilizando datos de otras fuentes, como DesInventar, podemos utilizar el modelo SEM para inferir las pérdidas por deslizamiento, y el efecto que la falta de gobernanza nacional y local tiene en el deterioro actual del medio ambiente. Modelos como los Sistemas de Dinámica que trabajan sobre el tiempo pueden indicar como el riesgo

se va amplificando sobre el tiempo durante cual los servicios ambientales sufren degradación.

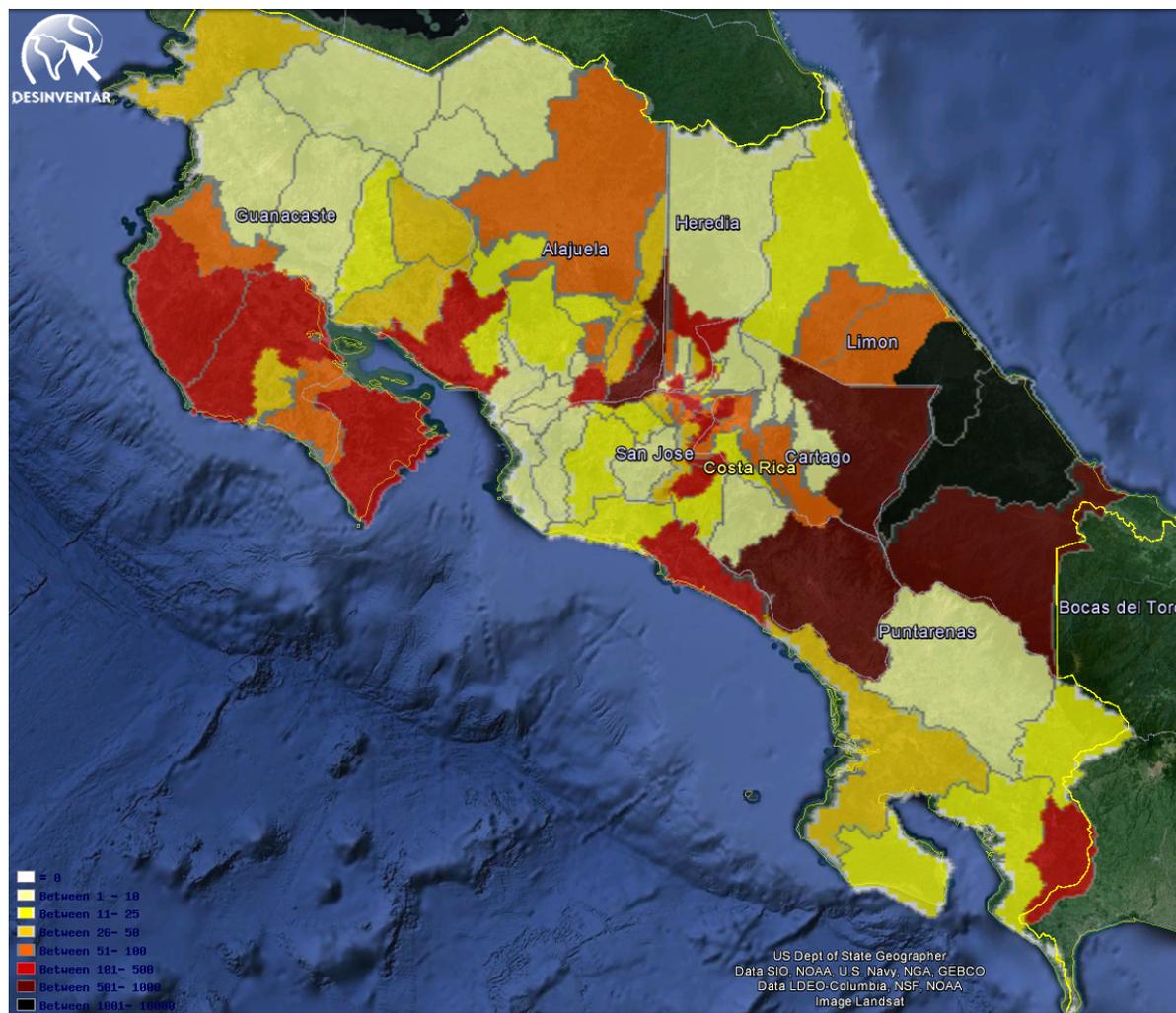


Figura 6.2. Viviendas destruidas, Costa Rica, 1970-2012, según la fuente DesInventar (Fuente: DesInventar, base de datos de pérdidas por desastres)

B. Guatemala

1. Contexto

Una población aproximada de 15,5 millones de habitantes ocupa una superficie total de casi 110 000 km², con costas sobre el Océano Pacífico y el Caribe. Las configuraciones de amenaza consisten en un riesgo sísmico sustancial, particularmente en el sur del país. También se presenta la exposición por eventos hidrometeorológicos, particularmente por tormentas e inundaciones derivadas del impacto de ciclones. Guatemala está muy familiarizada con la noción histórica del desastre, debido a que en dos ocasiones la capital ha resultado seriamente afectada por desastres, primero en 1541 debido a las corrientes de lodo y luego en 1976 debido a un terremoto (ECLAC, 2003).

La inestabilidad política recurrente en el período de 1944-1996 se caracterizó por los rápidos cambios de gobierno que contribuyeron a la alta vulnerabilidad que ha tenido consecuencias prolongadas para la nación. El impacto del terremoto de 1976 se vio agravado por esa inestabilidad política y caos institucional, lo que contribuyó a que se produjera una gran cantidad de muertes y de población desplazada. Esto aplica especialmente entre los grupos sociales pobres y marginales, dentro de los cuales destacan los descendientes de los pueblos originarios de Guatemala (Lavell, 2002).

El cambio climático trae consigo más amenazas y riesgo de exposición. La exposición a la sequía (como la que afectó a más de 2,5 millones de personas en el país en 2009) y a las tormentas (que en 2005 y 2010 afectaron a alrededor de medio millón de personas), ponen en evidencia los altos niveles de exposición y vulnerabilidad de Guatemala ante las amenazas derivadas del comportamiento variable del clima. Los efectos de ENOS ya están provocando grandes pérdidas y se prevé que en el futuro se vean exacerbados por el cambio en los promedios de los parámetros climáticos. Si consideramos estos aumentos en amenaza junto con la situación socioeconómica en el país, se empieza a pintar un cuadro en cual el largo plazo de baja gobernanza no solo ha ya causado un grande deterioro el medio ambiente, pero también va dejando a la población ya marginalizada en condiciones

de baja resiliencia para enfrentar futuros eventos (Guatemala, Secretaría de Planificación y Programación, 2012).

2. Configuración de gobernabilidad, ambiente y riesgo

Guatemala tiene una combinación histórica bastante difícil de manejar en términos de riesgo de desastres por una combinación de alta amenaza, exposición y vulnerabilidad. El proyecto Hotspots puso a Guatemala en el quinto lugar de países con el más alto nivel multiamenaza (Dilley, 2005). Aparte de sus condiciones de riesgo, también tiene muy bajos indicadores de desarrollo humano, gobernabilidad, ambiente, etc. (Guatemala, 2012)

Entre los países incluidos en los indicadores de gobernabilidad del Banco Mundial, Guatemala otra vez sale entre los más bajos en varias categorías (Banco Mundial WGI data, 2013). También tiene una de las tasas de mortalidad infantil más altas por causa de malnutrición más altas del mundo, y se encuentra con un muy alto nivel de exclusión social de grupos étnicos marginados. Todo esto promueve un entorno con bajo nivel de seguridad, y una necesidad de mucha ayuda y mejora de condiciones antes de que los niveles de riesgo extensivo puedan ser controlados.

En la Ciudad de Guatemala, el barrio de Barrancas contiene una de las peores configuraciones de riesgo de cualquier área urbana en la región. Mucha de la construcción se ha hecho sobre laderas inestables. Además, hay frecuente y regular subsidencia de tierras, junto con inundaciones, deslizamientos y riesgo sísmico. Inequidades económicas y sociales en muchas formas configuran quienes viven en riesgo: grupos pobres y marginados se encuentran ocupando las zonas de más alto riesgo.

Muchas zonas rurales contienen largas áreas de riesgo extensivo debido a la poca inversión en infraestructura, el bajo rendimiento de la tierra por falta de irrigación y métodos modernos de cultivo, y el bajo nivel de resiliencia de muchos grupos indígenas. Esto significa que mucha de la gente en estas zonas sufre regularmente de pequeñas pérdidas

que poco a poco erosionan sus medios de vida, dejando menos para ahorrar en aumentar sus ingresos, mucho menos para la prevención y mitigación.

En términos del modelo SEM de gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre, podemos ver claramente el efecto sobre el nivel de riesgo que la mala gobernabilidad, junto con un ambiente deteriorado y altamente expuesto a múltiples amenazas, promueven. Más investigación es necesaria para poder modelar con más detalle la relación entre gobernanza y medio ambiente, pero basta con entender que con bajo nivel de gobernanza, también hay bajo nivel de desarrollo económico (como, por ejemplo es el caso en Haití hoy en día).

Aparte de este punto bastante obvio, hay otras implicaciones menos aparentes. Las relaciones causales entre gobernabilidad y ambiente implican que el mejor punto de entrada para ONG y agencias internacionales es promoviendo un mejor cumplimiento de la ley, para fortalecer instituciones legislativas y legales, y así promover la reducción en la tasa de deterioro del ambiente. Al invertir en proyectos que directamente mejoran el ambiente, antes de resolver los problemas gubernamentales, hay mucha más posibilidad de que los avances se pierdan de nuevo.

A la vez, intervenciones en el ambiente sí reducen el riesgo de desastre y muy probablemente sean más tangibles y menos costosas que promover cambios en la cultura de gobernabilidad. Una buena opción sería acoplar estos dos resultados deseados dentro de proyectos que promueven ambas metas al mismo tiempo. Por ejemplo, proyectos que mejoran el ambiente con base en una mejor administración de los recursos por parte de grupos locales, o para fortalecer específicamente a sectores directamente relacionados con recursos naturales.

En la realidad, las relaciones entre gobernabilidad y ambiente pasan por otras variables latentes que todavía no han sido modeladas, en particular por las condiciones subyacentes que promueven la generación del riesgo desde lo primero. Estos incluyen factores socio-

económicos, como de uso de suelos y calidad de infraestructura. Estos puntos de entrada intermedios también pueden ser una buena opción para crear intervenciones, tal como las relaciones causales entre gobernabilidad y los factores subyacentes.

Condiciones sociales y económicas pueden promover grandes cambios en gobernabilidad. El problema con estos tipos de cambios es que se destacan por lo caótico de su manifestación: en intervenciones queremos hacer pequeños cambios incrementales para reducir la posibilidad de resultados no esperados. La existencia de relaciones recursivas (no modeladas, como entre medio ambiente y gobernanza) entre algunas de las variables exógenas, no necesariamente nos problematiza la situación: se apunta a buscar mejorar las dos/tres variables que están recursivamente asociadas todas a la misma vez. Por ejemplo, buscar mejorar el seguimiento a la ley al mismo tiempo que se promueven derechos humanos para grupos marginados como migrantes, pobres, mujeres, niños e indígenas.

3. Datos clave

Los datos de exposición para Guatemala están compuestos en gran parte por el riesgo de terremotos, con valores totales para todos los eventos en niveles de dos órdenes de magnitud por debajo de la exposición a la amenaza de terremoto. Estos valores de pueden significar una sub-representación de la amenaza hidrometeorológica total, como parecerían indicarlo los efectos producidos por los huracanes Mitch y Stan (tabla 6.2).

Tipo de desastre	Periodo de muestreo	Damnificados anualmente	Afectados anualmente	Muertos anualmente
Sismo	41 años	28,563	92,211	562.1
Inundación	41 años	104	8,741	20.7
Deslizamiento-seco	41 años	24	50	1.4
Deslizamiento-precipitación	41 años	11	66	5.8
Tormenta	41 años	0	24,206	51.2
Volcán	41 años	0	450	0.0
	41 años	28,703	125,724	641.2

Tabla 6.2. Damnificados, 1970-2010, según EM-DAT. (Fuente: EM-DAT, 2013. Base de datos sobre pérdidas por desastres)

Los registros de EM-DAT presentan un número importante de damnificados debido al riesgo sísmico (figura 6.3), con un recuento de personas en esa condición en un promedio anual de alrededor de 28 000, junto con un número de muertos significativo, de cerca de 500 personas por año. Por su parte, los datos referidos a las tormentas no contienen registros de damnificados; mientras que los datos relacionados con las inundaciones indican muy bajas cantidades de personas damnificadas, registros que parecen ser significativamente inferiores a los valores reales. De nuevo, debido a los criterios de recopilación de registros que aplica EM-DAT, es factible considerar que un buen porcentaje de pérdidas por deslizamientos no hayan sido reportadas en esta base de datos.

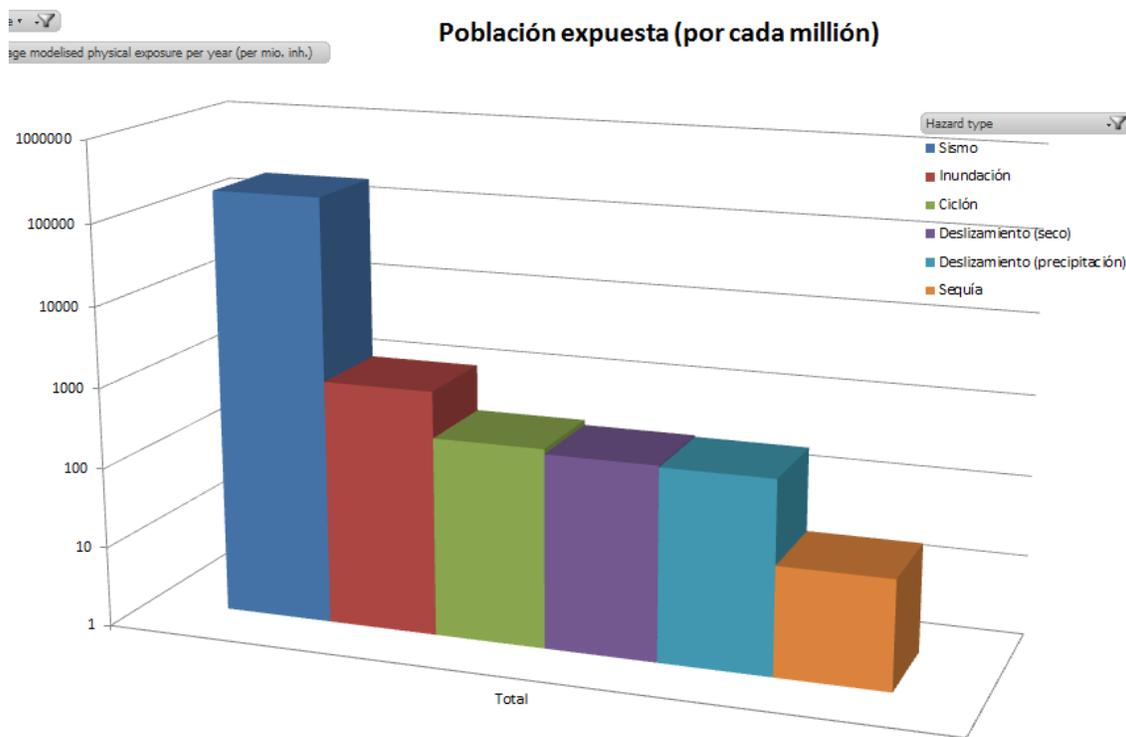


Figura 6.3. Exposición relativa a las amenazas en Guatemala (por millón de habitantes). (Fuente: Modelo GRID, PNUMA.2011)

La representación geográfica o mapeo que permite reproducir DesInventar, refleja varias áreas de concentración de viviendas destruidas por municipio (figura 6.4). Esas concentraciones comprenden áreas de alta densidad de población en la región central-sur del país, así como áreas menos densamente pobladas en el norte del país, que están más expuestas a las amenazas hidrometeorológicas originadas en la influencia climática del mar Caribe.

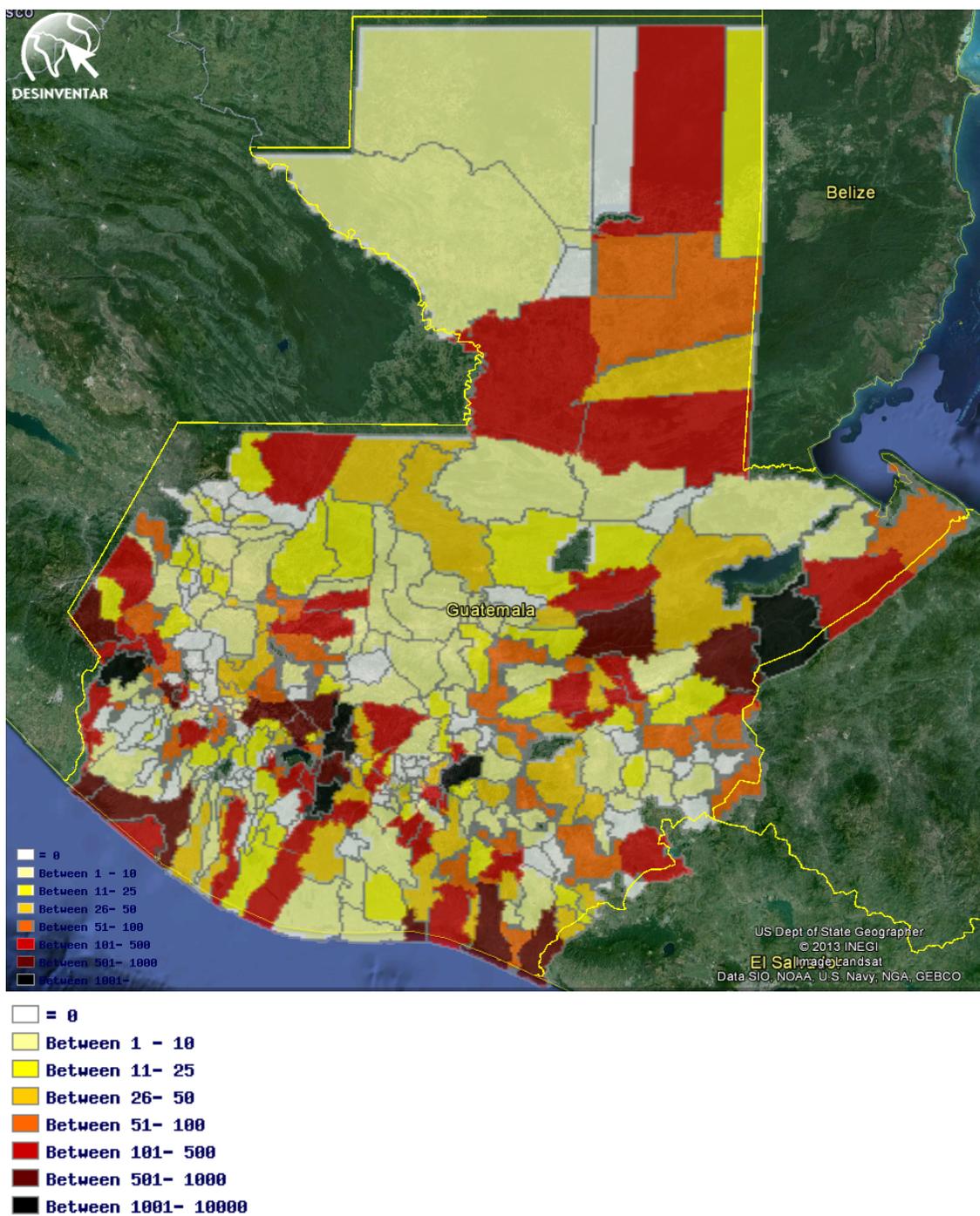


Figura 6.4. Viviendas destruidas en Guatemala, 1970-2012, según DesInventar (Fuente: DesInventar, base de datos de pérdidas por desastres)

VII. Resumen

A. Conclusiones

1. Limitaciones y alcances

Es importante empezar por mencionar el nivel de dificultad que conlleva construir estos modelos desde cero, sin parámetros de valores preestablecidos ni conjuntos de datos que puedan estimar fácilmente todos los parámetros libres. Un intento de este tipo debe ser considerado dentro de este contexto. Como afirma Mulaik:

"La inclinación natural del investigador es determinar qué tan bien... el modelo de la matriz de covarianza se ajusta a la matriz de covarianza observada. Pero es importante entender lo que significa la comparación. La mayoría de las discusiones de ajuste del modelo se centran en que la forma de ajuste del modelo es una función de los parámetros estimados del modelo. De hecho, el problema de la estimación de parámetros domina los debates de lo que a menudo se pierde de vista ha sido hipotetizado y debe ser probado en el modelo de uno. La hipótesis es acerca de los parámetros fijos y limitados en el marco del modelo de uno. El "marco" es un esquema a priori que se impone a los datos." (Mulaik, 2009 p.307)

Es importante destacar que si bien el modelo de Gobernabilidad, Ambiente y Riesgo de Desastres (2-9I) es todavía muy limitado para retratar la complejidad del mundo real de los riesgos de desastre, sí conserva sus bases conceptuales. Es decir, el modelo no ha comprometido el concepto a favor del ajuste, a pesar de tener un alcance limitado con el fin de permanecer dentro de los confines de las posibles limitaciones de estimación de parámetros.

Si bien el grado de sofisticación, ajuste y relevancia en el mundo real del modelo descrito está todavía a una distancia considerable de lo que esperamos lograr con esta metodología,

pero sí ofrece opciones importantes para futuros avances. Además, proporcionó algunos resultados interesantes y pruebas a favor de los modelos conceptuales más populares de GRD que integran el desarrollo, los conductores de riesgo y desastres en un solo continuum. El modelo con mejor encaje desarrollado hasta ahora, en efecto mantiene una fidelidad subyacente con el modelo conceptual que representa, lo que fácilmente puede ser considerado como el logro más sustancial en este prototipo.

La importancia de establecer relaciones causales dentro de un marco probabilístico no puede ser subestimada: si la estructura causal de un área de conocimiento dado no se puede determinar o justificar, entonces hay pocas posibilidades de que las intervenciones sean diseñadas en torno a la minimización de los verdaderos conductores de riesgo. Por ejemplo, de los resultados del modelo 2-9I se puede apuntar a la necesidad de concentrar más recursos en el aumento de los niveles de gobernanza antes de realizar grandes inversiones para mejorar las condiciones ambientales o mitigar riesgos climáticos. En muchos casos, proyectos internacionales para restaurar ecosistemas fallan cuando los factores subyacentes del riesgo vuelven a deteriorar el ambiente, muchas veces en un patrón parecido a los patrones históricos que previamente causaron su deterioro.

A un nivel más local, como es que suponemos implementar criterios de adaptación al cambio climático en la construcción de carreteras y calles en municipios cuya baja gobernanza de hoy en día les limita de poder ejecutar hasta sencillos proyectos de asfalto a un nivel básico de calidad y durabilidad. En otras palabras, el modelo nos indica la importancia de incidir en las variables exógenas para limitar su influencia en las variables endógenas. Mejorar la gobernanza automáticamente mejora la gestión del medio ambiente y la ejecución de obras públicas, que automáticamente reducen el riesgo de desastre. Esto sería mucho más efectivo que usar mala gobernanza para directamente tratar de incidir sobre el riesgo. Dentro de este ejemplo, mejorar la gobernanza promueve mejores calles y medio ambiente, reduciendo la necesidad de futuras mitigaciones u otras formas de GDR.

En la medida en que los datos de entrada utilizados para el modelado SEM continúan siendo refinados y mejorados, la capacidad de modelar las relaciones causales más complejas con más conductores de riesgo seguirá aumentando. Los futuros modelos integrarán más variables de orden social, económico, de planificación del uso del suelo y ambiental, aproximándose aún más a una imagen completa del continuum del desastre y el desarrollo.

2. Interpretación de resultados

El modelo de Gobernabilidad, Ambiente y Riesgo de Desastres descrito en este trabajo obtuvo valores de ajuste cercanos a los límites comúnmente aceptados para un buen grado de ajuste, con un valor de Chi -cuadrado de 163 (con 110 grados de libertad), el CFI (Índice de ajuste comparativo) de 0,98 (0,90 o más es el umbral aceptado), un GFI (índice de calidad del encaje) de 0,90 (0,90 o más es el umbral aceptado) y un RMSEA (Error de aproximación “Root Mean Squared”) de 0,054 (0,05 o menos es el umbral aceptado). Todas estas cifras indican un resultado, ya sea con un alto grado de ajuste o bien, muy cerca de un alto grado de ajuste. Es decir, los resultados de correr los datos empíricos por el modelo produjeron resultados con un alto nivel de encaje con las pérdidas observadas.

Con el fin de interpretar mejor estos resultados, conviene hacer algunas breves definiciones de las medidas de ajuste del modelo. Es importante entender que el ajuste del modelo sólo se refiere a lo bien que la matriz de covarianza modelada coincide con la matriz de covarianza observada. Altos grados de ajuste significa que el modelo puede replicar los resultados observados, pero no significa que el modelo sea necesariamente el correcto: como suele ser el caso de la actividad científica, unos conjuntos de resultados de confirmación pueden ser rápidamente refutados por nuevas pruebas o problemas metodológicos. Y, a menudo nos encontramos con que paradigmas de siglos de antigüedad pueden llegar rápidamente a una crisis por cambios sutiles en los supuestos subyacentes. Desde el punto de vista epistémico, se repite la acertada cita de Peirce de hace más de un siglo:

"La verdad es la concordancia de una afirmación abstracta con el límite ideal hacia cual investigación sin fin llegaría, cual concordancia sea en virtud de la confesión de su inexactitud y unilateralidad, y que esta confesión es un esencial ingrediente de dicha verdad." Charles Sanders Peirce, 1901 (Butler, 1940).

Por lo tanto, a pesar de ser una poderosa metodología para establecer la causalidad probabilística, los estudios de SEM son a menudo limitados por las restricciones que imponen los datos del mundo real. También tienen el peculiar rasgo de poner en relieve las dificultades y fuentes de prejuicio y error de los mismos investigadores que hacen establecer resultados concluyentes mucho más difícil. Esto no quiere decir que el SEM es un enfoque estadístico poco exitoso, sino que es un enfoque más "honesto" para esos datos y hace a las limitaciones del modelado más evidentes y difíciles de ignorar o esconder.

La estadística Chi-cuadrado, y sus grados concomitantes de estadística libre, son una medida de ajuste del modelo adoptado del análisis del factor confirmatorio y es la estadística de ajuste de modelo más utilizada en SEM. Muchos de los otros índices son de alguna forma derivados de la estadística de Chi-cuadrado, a menudo haciendo la interpretación más fácil que con el solo Chi-cuadrado en virtud de ser escalados comúnmente entre 1 y 0. Chi-cuadrado se refiere a la suma en escala ajustada de los cuadrados de error de varianza de cada variable entre el modelo de la matriz de covarianza y la matriz de covarianza de los datos observados. Los grados de libertad representan el número de dimensiones en la que los datos pueden diferir del modelo debido a las limitaciones impuestas por los parámetros del modelo. En general, los grados de libertad son una medida cuantitativa de la potencial disconformidad de un modelo, y el mayor valor relativo de los grados de libertad en comparación con la estadística de Chi - cuadrado indica un buen ajuste del modelo (adaptado de Mulaik, p.263, 2009).

A diferencia del Chi-cuadrado y los grados de libertad, las otras medidas de ajuste se basan en una escala de 0-1, con las métricas de GFI y CFI implicando un ajuste perfecto con un

valor de 1, y RMSEA implica un ajuste perfecto con un valor de 0. Hay varios otros indicadores de uso común y una discusión más completa de éstos, sus ventajas e inconvenientes, etc. que está más allá del alcance de este documento. En general, la mayoría de estas estadísticas apuntan hacia un modelo que está cerca de un grado razonable de certeza estadística. Se espera que con la próxima iteración el ajuste del modelo aumentará hasta dentro de los umbrales aceptados comúnmente, aunque sigue siendo posible que los nuevos datos empeoren el ajuste del modelo y que la hipótesis del caso y los datos requieran ser nuevamente examinados.

Una estadística que el modelo no fue capaz de producir fue la estadística “Satorra-Bentler Corrected Chi-squared”. Se espera que en alguna futura implementación de este modelo los datos de esta estadística se resolverán sin errores, ya que es ampliamente considerada por proporcionar mejores resultados cuando el conjunto de datos implica datos distribuidos no-normalmente, como es el caso de varias de las variables utilizadas en el modelo.

La iteración actual del modelo y los datos indican un buen ajuste del modelo entre la gobernanza, el ambiente y las variables de pérdidas por desastres, y de los valores de los parámetros estimados se pueden obtener algunas conclusiones interesantes. Todas estas conclusiones son estrictamente preliminares hasta que el enfoque y los modelos hayan alcanzado la calidad suficiente para cumplir con el criterio de Peirce que aparece anteriormente.

3. Conclusiones específicas

En esta sección exploramos algunas de las implicaciones de las relaciones causales entre las variables latentes del modelo de mejor encaje, 2-9l. Utilizando el modelo ya comprobado, podemos explorar las relaciones entre las variables, y el grado en que influyen causalmente sobre las otras variables endógenas. Relaciones con grandes

coeficientes entre las variables indican partes del modelo donde podemos enfocar nuestro análisis y así buscar rutas prescriptivas para reducir riesgo más eficazmente.

Si la gobernanza se divide en dos variables latentes que representan a su eficacia y legalidad, encontramos que el nivel de legalidad tiene un efecto fuerte en reducir los riesgos de desastre, pero el nivel de eficacia tiende a aumentar los riesgos de desastre (ver modelo 2-9I; coeficientes entre elementos de gobernanza y riesgo humano, económico). De estos dos, el modelo indica que principalmente la variable de legalidad puede conducir a condiciones ambientales menos peligrosas. Esto bien podría señalar el hecho de que donde hay gobernabilidad eficiente, pero falta de legalidad, hay una mayor incidencia de entornos deteriorados porque el mismo sistema de gobernanza contribuye a una explotación de recursos más eficaz. Las diferentes componentes de la gobernanza tienen diferentes tipos de efectos sobre el riesgo de desastres, a menudo a través de “proxis” indirectos que requieren más análisis para identificar y modelar estos componentes adicionales.

La variable latente endógena para el ambiente es la componente más débil del modelo debido a la dificultad de obtener un modelo de análisis factorial con mejor encaje entre las variables observables disponibles. Se espera que la utilización de nuevas bases de datos producirá mejores resultados. También se espera que con un futuro conjunto de datos más completo y de más alta calidad sea posible lograr la identificación de parámetros de modelos más complejos.

Dividir los riesgos de desastres en riesgo social / humano y riesgo económico / medios de vida produjo resultados positivos. Curiosamente, las variables observadas de personas afectadas y sin hogar junto con los costos económicos, modelan mejor el riesgo económico. Aumenta el ajuste del modelo si los costos también son ligados a los de riesgo social / humano, que es contrario a la intuición, a menos de que los costos fueran inicialmente extrapolados de otros puntos de datos como el número de heridos y muertos. Esto indica una fuente de sesgo que no se considera a menudo. Es decir, los números de costos

económicos no son los datos originales producidos a partir de un recuento de las pérdidas, sino que, en muchos casos, los datos fueron derivados de alguna de las otras variables reportadas de pérdidas sobre cada evento. Ahora, esto puede estar pasando dentro de las propias agencias informantes también antes de llegar al EM- DAT. Esta idiosincrasia es un gran ejemplo de las muchas fuentes de sesgo y error que constantemente están aflorando desde las direcciones menos esperadas, cuando solo tenemos acceso a una base limitada de datos, como encontramos en este tiempo.

4. Conclusiones generales

Este estudio preliminar sobre el uso de Modelos de Ecuaciones Estructurales para establecer relaciones causales entre desarrollo y desastre, ha demostrado que el método puede dar resultados interesantes sin una inversión demasiado sustancial de tiempo. Este proyecto en fase de prototipo fue diseñado para proporcionar la prueba de un modelo SEM con un cierto grado de poder explicativo y certeza estadística. Los resultados de este proyecto indican generalmente que la investigación en este campo podría producir resultados prácticos, con una inversión modesta.

SEM y otros modelos probabilísticos tienen un gran potencial para establecer vínculos entre los procesos de desarrollo y la acumulación de riesgo latente de las estructuras y poblaciones expuestas y vulnerables. Metodologías estadísticas más simples no serán capaces de seguir el ritmo de la creciente complejidad y el consiguiente aumento de sesgo, error e incertidumbre en las fuentes, que la SEM puede manejar y hacer explícita al mismo tiempo.

A medida que entramos en una nueva era de uso intensivo de datos en la que los computadores pueden mezclar y modelar fácilmente grandes cantidades de información, aprovechar estas nuevas herramientas requerirá el desarrollo coordinado de un nuevo conjunto de habilidades dentro de la comunidad de la GRD. Como estas herramientas se funden con otros enfoques actuales de evaluación de intervenciones, tales como los análisis de costo/beneficio, informará de muchas maneras los tipos de proyectos que

podrán recibir financiamiento en el futuro. Por ejemplo, justificar una inversión en educación por encima de la construcción de un nuevo puente, requerirá nuevos tipos de pruebas que pueden apoyar tal decisión, y sólo este tipo de herramientas puede proporcionar la evidencia del grado de certeza tras el potencial resultado de una determinada intervención.

Los primeros modelos transversales aquí elaborados tendrán que dar paso eventualmente a formas de análisis longitudinales, de series de tiempo utilizando modelos SEM de crecimiento u otros enfoques. Como el desarrollo y sus patrones están experimentando constantes cambios, es importante estudiar los cambios en los indicadores de desarrollo y la forma en que afectan el riesgo de desastres a través del tiempo. De particular interés es estudiar los patrones de acumulación de riesgo latente de los países que pasan de ser emergentes a desarrollados, y cómo el riesgo y los desastres afectan a su vez las variables de desarrollo.

B. Recomendaciones

El modelo de Gobernabilidad, Ambiente y Riesgo de Desastres se proporciona como el modelo con el mejor ajuste de datos y de fidelidad con los supuestos de los modelos conceptuales contemporáneos del GRD. Es considerado, sin embargo, sólo un peldaño en el camino a los más complejos y representativos modelos que puedan proporcionar una imagen más completa de la configuración del riesgo de desastres.

Sin una buena comprensión de todo el cuadro, cualquier intento, como suele ser el caso en muchos esfuerzos científicos, puede parecer bien planteada dentro de su alcance limitado. Pero, puede llegar a ser poco práctico o demasiado limitado cuando se considera en un entorno más holístico/integral. Por esto es importante digerir los resultados de este análisis limitado, y seguir en el proceso de poder modelar mejor todo el sistema, identificando claramente las variables endógenas y exógenas que permiten la mejor fidelidad de nuestros modelos con el mundo real.

Existen varios enfoques principales hacia la iteración de modelos más complejos y útiles en el corto plazo:

1. Mejorar la metodología para la determinación, la validación y la manipulación de conjuntos de datos.
2. Mejorar los componentes individuales del modelo conceptual general a través de más modelos de Análisis de Factor Confirmatorio y modelado SEM de alcance limitado.
3. Considerar opciones para encontrar modelos más parsimoniosos (es decir, más sencillos) que, aunque menos explicativos, pueden ser capaces de penetrar un umbral más estadísticamente significativo.
4. Una vez que se han tomado estos pasos preliminares, modelos más complejos pueden ser iterados a partir de los resultados más prometedores de los modelos más sencillos. Así en fin construyendo modelos más completos de componentes ya comprobados.

Una serie de recomendaciones para el mediano y largo plazo en lo que respecta a los datos y modelos:

1. Es necesario mejorar la cantidad y calidad de los datos, y esta nueva norma luego tiene que ser mantenida durante un período de tiempo significativo.
2. Una sub-especialidad de ajuste y transformación de datos debe desarrollarse ya que el número de cuestiones que requieren habilidades de investigación profundas, para ser resueltas, crecen exponencialmente a medida que el número de las variables modeladas aumenta.
3. Metodologías comunes para tales transformaciones y ajustes deben ser bien difundidas y comprendidas para que los estudios independientes puedan producir resultados comparables o incluso compuestos a construir sobre los resultados de estudios anteriores.

4. La comunidad de GRD debe poner una cantidad de atención extra hacia metodologías probabilísticas complejas como los modelos de ecuaciones estructurales, Redes Bayesianas y modelos de Dinámica de Sistemas. Ya que hay mucho trabajo por hacer en el establecimiento de los bloques básicos de construcción tales como los modelos de Análisis Factorial Confirmatorio para los componentes individuales, valores de los parámetros establecidos y las rutas causales comprobables.

C. Pasos siguientes

El proyecto ha establecido una sólida “prueba de concepto” para el desarrollo de Modelos de Ecuaciones Estructurales más sofisticados y matizados, relacionando desarrollo con riesgo. Sin entender bien las relaciones causales entre nuestros procesos de desarrollo y como acumulan riesgo, es casi imposible implementar medidas que aseguren un desarrollo sostenible en el futuro. La ciencia de cambio climático ha florecido más que todo por su manejo cuantitativo del elemento causal clave: introducir gases invernadero en la atmosfera afecta al clima en relación a la cantidad emitida de dichos gases. En la misma forma que esta relación entre desarrollo (en términos de carbono dióxido emitido) y riesgo (en términos de más grandes tormentas, ondas de calor e incendios forestales) se concretó para el estudio de cambio climático, ocupamos seguir concretando esta relación para las otras amenazas que nos causan condiciones de desastre.

Más allá de mejorar el modelado SEM, también existe la oportunidad de enlazar otras metodologías probabilísticas como las Redes Bayesianas y los modelos de Sistemas de Dinámica dentro del trabajo del SEM, para hacer un análisis de las variables más exhaustivo. Esto es así porque cada una de estas metodologías trae fortalezas y debilidades a la mesa: SEM puede establecer la causalidad, pero carece de capacidad heurística, las Redes Bayesianas son excelentes para explorar las relaciones y las opciones, pero no pueden establecer la inferencia causal con la certeza del SEM. Además, los modelos de Sistemas de

Dinámica requieren un gran número de supuestos causales para operar, sin embargo, pueden proporcionar una visión única de los modelos longitudinales, ya que este es el fin específico para el cual fueron diseñados.

Utilizando el previo ejemplo de cambio climático, ya que la relación causal principal ha sido concretada no es tan necesario utilizar modelos de SEM para comprobar la relación entre gases invernaderos y clima. Para este tema, las otras herramientas mencionadas podrían tener más poder explicativo. Redes Bayesianas pueden explorar las muchas fuentes e influencias sobre gases invernaderos para encontrar metodologías que maximizan el costo-beneficio de los proyectos priorizados. Modelos de Sistemas de Dinámica son particularmente heurísticos en el análisis de datos longitudinales, donde buscamos ver como interdependencias entre elementos cambian sobre el tiempo.

En ambos de estos casos, primero requerimos un modelo con un buen nivel de certeza sobre los elementos principales y las relaciones causales. Si no confirmamos el modelo causal antes de utilizar estas herramientas en una forma exploratoria, entonces arriesgamos crear modelos que funcionan bien con datos disponibles, pero que tienen poca relación práctica al mundo real.

VIII. Referencias consultadas

- ADAMS, H., SEARLE, L., EDS, 1986: Critical Theory Since 1965. Florida State Board of Regents. Florida.
- ADAMS, H., ED, 1992: Critical Theory Since Plato, revised edition. HJB, New York, USA.
- ARISTOTLE, 1989: Aristotle in 23 Volumes, Vols.17, 18, translated by Hugh Tredennick. Cambridge, MA, Harvard University Press; London, William Heinemann Ltd. 1933, 1989. (hosted at perseus.tufts.edu.)
- BANKOFF, G., 2004: The historical geography of disaster: “vulnerability” and “local knowledge” in western discourse. In: Mapping Vulnerability: Disasters, Development, and People [G. Bankoff; G. Frerks; and D. Hillhorst (eds.)]. Earthscan, London, pp. 25-36.
- BIRKMANN, J. (ED.), 2006: Measuring Vulnerability to Natural Hazards. – 524 pgs. United Nations University Press: Tokyo, Japan.
- BIRKMANN, J., 2007: Hazard, Vulnerability, Risk Modeling. – 35 pgs. Leeds, UK [Presentación].
- BROOKS, P.B., 1995: The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering, 322 pgs. Addison Wesley, New York, USA.
- BUTLER, J., ED, 1940: Peirce, C.S. Philosophical Writings of Peirce. Dover Publications: New York, USA.
- CARDONA, O.D., ORDAZ, M., REINOSO, E., YAMIN, L., BARBAT, A., 2010: Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment (CAPRA): International Initiative for Disaster Risk Management Effectiveness. – 10 pgs. 15 European Conference on Earthquake Engineering (ECEE), Ohrid, Macedonia.
- CARDONA, O.D., 2005: System of Indicators for Disaster Risk Management. - 216 pgs. Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) (Institute of Environmental Studies), Inter-American Development Bank (IADB (BID)), Washington, DC, USA.
- CENTRO DE COORDINACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE LOS DESASTRES NATURALES EN AMÉRICA CENTRAL (CEPREDERNAC)., 2010: Informe base de daños y pérdidas de eventos hidrometeorológicos.
- CUTTER, S. L., L. BARNERS, M. BERRY, C. BURTON, E. EVANS, E. TATE, and J. WEBB, 2008: A place-based model for understanding community resilience to natural disasters, Global Environmental Change, 18, 598-606.
- DESINVENTAR, 2013: [s.f]. Sistema de Inventario de Efectos de Desastre. Página web: <http://online.desinventar.org/>
- DILLEY, M. CHEN, R., DEICHMANN, U., LERNER-LAM, A., ARNOLD, M., 2005: Natural Disaster Hotspots- A global risk analysis. – 29 pgs. World Bank & Columbia University, Washington DC, USA [Informe de síntesis].

- EINSTEIN, A., 1953: Letter to J.S. Switzer, April 23, 1953; Einstein Archive 61-381.
- ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN (ECLAC), 2003: Handbook for Estimating the Socio-economic and Environmental Effects of Disasters. United Nations, World Bank: Washington, DC.
- EIRD, 2005: Hyogo Framework for Action: Extract from the final report of the World Conference on Disaster Reduction (A/CONF.206/6).
- ERN-AL, 2011: Probabilistic Modelling of Natural Risk at Global Level: The Hybrid Loss Exceedance Curve – Development of a Methodology and Implementation of Case Studies, Phase 1A: Colombia, Mexico, Nepal. Report for the GAR 2011, Consortium Evaluación de Riesgos Naturales – América Latina, Bogotá, Colombia.
- ESTADO DE LA NACIÓN, COSTA RICA, 2010: El Estado de La Región.
- FREEDMAN, D., 2010: Statistical Models and Causal Inference. Cambridge University Press: New York, USA.
- GANZEBOOM, H., XXXX: LISREL for Dummies. Página web: http://www.harryganzeboom.nl/teaching/LISREL_for_dummies_English.pdf [documento en línea].
- GRACE, J., 2007: SEM Essentials. [presentación].
- GRACE, J.B. AND K.A. BOLLEN 2005: Interpreting the results from multiple regression and SEM [Bull. Ecological Soc Amer 86_283-295].
- GUATEMALA, SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN, 2012: Análisis de Riesgo en Proyectos de Inversión Pública.
- HEWITT, K., 1997: Regions of Risk: A Geographical Introduction to Disasters. Longman, Harlow, Essex, UK.
- HEWITT, K., 2007: Preventable disasters: addressing social vulnerability, institutional risks and civil ethics. Geographisches Bundschau. International Edition, 3(1), 43-52.
- HOFFMAN S.M., SMITH, T.O., EDS, 2002: Catastrophe & Culture: The Anthropology of Disaster (School of American Research Advanced Seminar Series).
- HUME, DAVID, 1896: A Treatise of Human Nature, Selby-Bigge, ed. Clarendon Press.
- HVRI, 2013: Hazard and Vulnerability Research Institute. Página web: <http://webra.cas.sc.edu/hvri/>
- HVRI, 2010: The Spatial Hazard Events and Losses Database for the United States. Version 8.0 (online database). Hazards and Vulnerability Research Institute, University of South Carolina, Columbia, SC, www.sheldus.org.
- INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION (ISO), 2007: ISO 31000 - Risk Management. ISO/IEC Copyright Office, Geneva, Switzerland.

- INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION (ISO), 2009: Guide 73: 2009. Risk Management – Vocabulary. International Organization for Standardization - 16 pgs. Geneva, Switzerland.
- KANT, I. 1792: Critique of Judgment, Translated by J. H. Bernard, New York: Hafner Publishing, 1951.
- KANT, I., 1787: Critique of Pure Reason, trans. and ed. by Paul Guyer and Allen W. Wood, Cambridge Univ. Press, 1998.
- KHUN, T., 1970: The Structure of Scientific Revolutions. University of Chicago Press, Chicago, USA.
- KUNREUTHER, H., 2006: Disaster mitigation and insurance: Learning from Katrina. The Annals of the American Academy of Political and Social Science, 604(1), 208-227.
- LAVELL A. AND FRANCO, E. (eds.), 1996: Estado, Sociedad y Gestión de los Desastres en América Latina. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, La RED, Tercer Mundo Editores, Bogotá, Colombia.
- LAVELL, A., M. OPPENHEIMER, C. DIOP, J. HESS, R. LEMPERT, J. LI, R. MUIR-WOOD, AND S. MYEONG, 2012: Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. in Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX) [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 25-64.
- LAVELL, A., MANSILLA, E., BRENES, A., LAVELL, C., 2010: Concepto, Objetivos y Metodología. Índice de Condiciones y Capacidades para la Reducción del Riesgo. – 42 pgs. Development Assistance Research Associates, Madrid, Spain. [Reporte Interno].
- LAVELL, A., 2002: Riesgo y Territorio: los niveles de intervención en la Gestión del Riesgo. Anuario Social y Político de América Latina y el Caribe. FLACSO- Federación Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- LAVELL, A., 1996: Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición una agenda de investigación. En: Ciudades en Riesgo [Fernández, M.A. (ed.)]. La RED-USAID, Lima, Perú, pp. 21-59.
- LAVELL, C., 2012: Defining and Quantifying Intensive & Extensive Risk. ISDR Reporte Interno.
- LAVELL, C., CANTELI, C., RUDIGER, L., RUEGENBERG, D., 2010: Data spread sheets develop in support of the DARA 'Risk reduction index: Conditions and capacities for risk reduction'. – 12 pgs. UN ISDR, Ginebra, Swiza.
- MECHLER, R. HOCHRAINER, S. LINNEROOTH-BAYER, J., PFLUG, G., 2006: The IIASA CATSIM Model. Tokyo: UNU Press.

- MULAİK, STANLEY A., 2009: Linear causal modeling with structural equations. – 428 pgs. Chapman & Hall-CRC, Boca Raton, Florida, USA.
- OFDA/CRED, 2011: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database. - Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. <http://www.em-dat.net> [consulta: June 2011].
- O'KEEFE, P., K. WESTGATE, and B. WISNER, 1976: Taking the naturalness out of natural disasters. *Nature*, 260(5552), 566-577.
- ONU, 2013: Informe de desarrollo del milenio. Naciones Unidas: Ginebra, Suiza.
- PEARL, J., 2000: Causality. Cambridge University Press: New York, USA.
- PEARL, J., 2009: Causal inference in statistics- An overview. - *Statistical Surveys*. Vol.3: 96-146.
- PEARL, J., 2011: What's new in causal inference. – 58 pgs. University of California, Los Angeles, USA. [Presentation: www.cs.ucla.edu/~judea/ June 2011].
- PEDUZZI, P., 2006: The Disaster Risk Index: Overview of a quantitative approach. *Measuring Vulnerability to Natural Hazards*. Birkmann, J. ed.UNU, Tokyo.
- PEDUZZI, P., 2004: Reducing Disaster Risk- A Challenge for Development. *Disaster Risk Index*. UNDP.
- PELLING, M., MASKREY, A., EDS., 2004: Reducing Disaster Risk- A Challenge for Development. – 147 pgs. United Nations Development Programme (UNDP), New York, USA.
- PREVENTION WEB, 2011: National level data series. - <http://www.proventionweb.net> [June 2011].
- POPPER, K., 1934: *The Logic Of Scientific Discovery*. Routledge: Nueva York
- QUARANTELLI, E.L, 1986: *Disaster Crisis Management*. Preliminary Papers 113, University of Delaware, Disaster Research Center. Newark, DE, <http://dSPACE.udel.edu:8080/dSPACE/handle/19716/487>.
- QUARANTELLI, E.L., ED, 1998: *What is a Disaster? Perspectives on the Question*. Routledge: New York, USA.
- SHELDUS, 2011: U.S. Hazard Losses Report. - Hazards and Vulnerability Research Institute, Department of Geography, University of South Carolina, USA. <http://webra.cas.sc.edu/hvri/products/sheldus.aspx> [última descarga: Junio 2011].
- SOPAC, 2004: *MANUAL: HOW TO USE THE ENVIRONMENTAL VULNERABILITY INDEX (EVI)*.
- STERMAN, J.D., 2000: *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Irwin/McGraw-Hill, Boston, MA.
- STERMAN, J.D., 2006: Learning from evidence in a complex world. *American Journal of Public Health*, 96(3), 505-514.

- UN ISDR, UNDP, LA RED, 2013: DesInventar GAR 2013 datasets. - <http://gar-isdr.desinventar.net> [última descarga: Junio 2013].
- UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (UN ISDR), 2011: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. – 178 pgs. UN ISDR, Geneva, Switzerland.
- UN ISDR, 2009: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. – 207 pgs. UN ISDR, Geneva, Switzerland.
- UTSU, T., 2000: El Manual Internacional de Ingeniería Sísmica y Sismología.
- VLASTOS, G., 1981: Platonic Studies. Princeton University Press.
- WISNER, B., BLAIKIE, P. CANNON, T., DAVIS, I., 2005: At Risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters, 2nd ed. – 471 pgs. Taylor & Francis, New York, USA.
- WISNER, B., P. O'KEEFE, AND K. WESTGATE, 1977: Global systems and local disasters: the untapped power of peoples' science. *Disasters*, 1(1), 47-57.
- WORLD BANK, 2011: World Development Indicators. – <http://www.google.com/publicdata/overview?ds=d5bncppjof8f9> [Consulta: 17 de Junio de 2011].
- WORLD BANK, 2010: Natural Hazards, UnNatural Disasters - The Economics of Effective Prevention.
- WORLD BANK, IEG, 2006: Hazards of Nature, Risks to Development - An IEG Evaluation of World Bank Assistance to Natural Disasters. – 181 pgs. World Bank, Washington, DC, USA.
- WORLD RISK REPORT, 2013: Global exposure and risk index. Disponible en: www.worldRiskReport.org.

IX. Bibliografía adicional consultada

A. Desastre, Desarrollo

- AVEN, T., 2011: On some recent definitions and analysis frameworks for risk, vulnerability, and resilience. *Risk Analysis*, 31(4), 515-522.
- BANKOFF, G. FRERKS, G., HILHORST, D. (EDS.), 2004: *Mapping Vulnerability: disasters, development and people.* - Earthscan, London, UK.
- BARRITO, F., 2008: *Disaster, Vulnerability and Resilience from a Macro-economic Perspective: Lessons from the empirical evidence.* Background paper for 2009 ISDR GAR. Geneva: ISDR.
- BECK, U., 2008: *World at Risk.* Cambridge: Polity Press.
- BIRKMANN, J. (ED.), 2006: *Measuring Vulnerability to Natural Hazards.* – 524 pgs. United Nations University Press: Tokyo, Japan.
- BIRKMANN, J., 2007: *Hazard, Vulnerability, Risk Modeling.* – 35 pgs. Leeds, UK [Presentation].
- BLAIKIE, P., T. CANNON, I. DAVIS, and B. Wisner, 1994: *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters.* 1st edition. Routledge, London.
- BLONG, R., 2009: *Country Natural Hazard and Vulnerability Assessment Procedure.* – 59 pgs. Asian Development Bank (ADB), Australia. [Consultancy report]
- BURTON, I., R. KATES, and G. WHITE (eds.), 1978: *The Environment as Hazard.* Guildford, New York, NY.
- CANNON, T., 2006: *Vulnerability analysis, livelihoods and disasters.* In: *Risk21. Coping with Risks due to Natural Hazards in the 21st Century* [Amman, W., S. Dannenmann, and L. Vulliet (eds.)]. Taylor and Francis Group, London, UK, pp.41-50.
- CARDONA, O.D., 2011: *Disaster risk and vulnerability: Notions and measurement of human and environmental insecurity.* In: *Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security – Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks* [Brauch, H.G., U. Oswald Spring, C. Mesjasz, J. Grin, P. Kameri-Mbote, B. Chourou, P. Dunay, and J. Birkmann (eds.)]. Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace, Vol. 5, Springer Verlag, Heidelberg, Berlin and New York, pp. 107-121.
- CAVALLO, E., GALIANI, S., NOY, I., PANTANO, J., 2010: *Catastrophic Natural Disasters & Economic Growth.* – Inter-American development bank (IDB), Washington DC, USA. [Working paper no. IDB-WP-183].
- CHONGFU, H., 1996: *Fuzzy risk assessment of urban natural hazards.* *Fuzzy Sets and Systems*, 83, 271-282.

- CORPORACIÓN OSSO, 2010: Análisis del riesgo extensivo Metodología para identificación de umbrales, Informe preliminar. 18 pgs. Corporación OSSO, Manizales, Colombia [Reporte Interno del EIRD].
- CUARESMA, J., 2009: Natural Disasters and Human Capital Accumulation. – 22 pgs. World Bank, Washington DC, USA [Policy Research Paper #4862].
- DE SOTO, H., 2000: The Mystery of Capital. – 275 pgs. Basic Books, New York, USA.
- ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN (ECLAC (COMISSION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA (CEPAL)), 2007: Information on disaster risk management. Case studies of five countries. - 102 pgs. UN, ECLAC, Mexico DF, Mexico.
- ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN (ECLAC), 2003: Handbook for Estimating the Socio-economic and Environmental Effects of Disasters. United Nations, World Bank: Washington, DC.
- FOSTER, J.E., SEN, A., 1996: On Economic Inequality, expanded edition with annexes. – 118 pgs. Random House, New York.
- FREIRE, C., 2010: DRAFT- Extensive Risk of the Impact of Disasters. – 21 pgs. Macroeconomic Policy and Development Division Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP), Bangkok, Thailand. [Internal report for ISDR].
- GALLOPÍN, G.C., 2003: Box 1. A systemic synthesis of the relations between vulnerability, hazard, exposure and impact, aimed at policy identification. In: Handbook for Estimating the Socio-Economic and Environmental Effects of Disasters. Economic Commission for Latin American and the Caribbean, LC/MEX/G.S., Mexico, pp. 2-5.
- HOHENEMSER, C., R.E. KASPERSON, and R.W. KATES, 1984: Causal structure. In: Perilous Progress: Managing the Hazards of Technology [Kates, R.W., C. Hohenemser and J.X. Kasperson (eds.)]. Westview Press, Boulder, CO, pp. 25-42.
- GLOBAL NETWORK OF CIVIL SOCIETY ORGANISATIONS FOR DISASTER REDUCTION (GNDR), 2009: Views from the Frontline: “Clouds but little rain...”. – 60 pgs. Tearfund: Teddington, United Kingdom.
- HASTINGS, D.A., 2009: Filling Gaps in the Human Development Index. – 41 pgs. United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP), Bangkok, Thailand. [Working Paper WP/09/02].
- HEWITT, K., 1997: Regions of Risk: A Geographical Introduction to Disaster. Addison Wesley: Essex, England
- HOUSE OF LORDS, SELECT COMMITTEE ON ECONOMIC AFFAIRS, UK, 2005: The Economics of Climate Change – Volume I: Report. (aka: Stern Report). – 84 pgs. The Stationery Office Limited, London, UK.

- KAHNEMAN, D. and A. TVERSKY, 1979: Prospect theory: An analysis of decisions under risk. *Econometrica*, 47, 313-327.
- KAHNEMAN, D., P. SLOVIC, and A. TVERSKY (eds.), 1982: *Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge University Press, New York, NY.
- KARIMI, I. and E. HULLERMEIER, 2007: Risk assessment system of natural hazards: A new approach based on fuzzy probability. *Fuzzy Sets and Systems*, 158, 987-999.
- KASPERSON, R.E., O. RENN, P. SLOVIC, H.S. BROWN, J. EMEL, R. GOBLE, J.X. KASPERSON, and S. RATICK, 1988: The social amplification of risk: A conceptual framework. *Risk Analysis*, 8, 177-187.
- KAUFMANN D., KRAAY, A. AND MASTRUZZI, M., 2010: "The Worldwide Governance Indicators IX: Methodology and Analytical Issues." World Bank Policy Research Working Paper No. 5430.
- LASSA, J., 2010: *Institutional Vulnerability and Governance of Disaster Risk Reduction: Macro, Meso and Micro Scale Assessment*. Tesis doctoral.
- LAVELL, A., MANSILLA, E., BRENES, A., LAVELL, C., 2010: *Concepto, Objetivos y Metodología. Índice de Condiciones y Capacidades para la Reducción del Riesgo*. – 42 pgs. Development Assistance Research Associates, Madrid, Spain. [Internal report].
- LAVELL, A., MANSILLA, E., SMITH, D., 2003: *Local Risk Management: Ideas and Notions relating to Concept and Practice*. Regional programme for risk management in Central America. – 91 pgs. CEPREDERNAC, UNDP, Panamá, Panamá.
- LAVELL, C., 2010: *Definition and Quantification of Intensive and Extensive Risk (DRAFT)*. – 47 pgs. UN ISDR, Geneva, Switzerland. [Informe interno para ISDR].
- LAVELL, A., M. OPPENHEIMER, C. DIOP, J. HESS, R. LEMPERT, J. LI, R. MUIR-WOOD, and S. MYEONG, 2012: *Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience*. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 25-64.
- LAVELL, A., 1999: *Environmental degradation, risks and urban disasters. Issues and concepts: Towards the definition of a research agenda*. In: *Cities at Risk: Environmental Degradation, Urban Risks and Disasters in Latin America* [Fernández, M.A. (ed.)]. La RED, US AID, Quito, Ecuador, pp. 19-58.
- LAVELL, A., 2003: *Local level risk management: Concept and practices*. CEPREDENAC-UNDP. Quito, Ecuador.

- LAVELL, A., 2009: Technical Study in Integrating Climate Change Adaptation and Disaster Risk Management in Development Planning and Policy. Study undertaken for the Inter-American Development Bank, Washington, DC.
- LAVELL, A., 2010: Unpacking Climate Change Adaptation and Disaster Risk Management: Searching for the Links and the Differences: A Conceptual and Epistemological Critique and Proposal. IUCN-FLACSO, International Union for Conservation of Nature - Latin American School of Social Sciences.
- LAVELL, A. AND C. LAVELL, 2009: Local Disaster Risk Reduction Lessons from the Andes. Series: Significant Local Development Initiatives in the Face of Disaster Risk. General Secretariat of the Andean Community, Lima, Peru.
- MILLER, F., H. OSBAHR, E. BOYD, F. THOMALLA, S. BHARWANI, G. ZIERVOGEL, B. WALKER, J. BIRKMANN, S. VAN DER LEEUW, J. ROCKSTRÖM, J. HINKEL, T. DOWNING, C. FOLKE, and D. NELSON, 2010: Resilience and vulnerability: complementary or conflicting concepts? *Ecology and Society*, 15(3), 11.
- NOORBAKSH, F., 1998: The human development index: some technical issues and alternative indices. - *Journal of International Development*, Vol. 10, No. 5: 589 - 605.
- PARKER, R., 2007: Development Actions and the Rising Incidence of Disasters. – 34 pgs. World Bank & IEG, Washington, DC, USA.
- PELLING, M., A. ÖZERDEM, and S. BARAKAT, 2002: The Macroeconomic impact of disasters. *Progress in Development Studies*, 2, 283-305.
- PRATT, J.W., H. RAIFFA, and R. SCHLAIFER, 2008: Introduction to Statistical Decision Theory. The MIT Press, Cambridge, MA, 895 pp.
- RAY, DEBRAJ., 1998: Development Economics. – 188 pgs. Princeton University Press, New York, USA.
- SANAHUJA, H., 1999: Evaluación Riesgo en América Central. – Univ. De Costa Rica, San José [Tesis M.Sc.].
- SCHNEIDER, S.H., S. SEMENOV, A. PATWARDHAN, I. BURTON, C.H.D. MAGADZA, M. OPPENHEIMER, A.B. PITTOCK, A. RAHMAN, J.B. SMITH, A. SUAREZ AND F. YAMIN, 2007: Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* – En: M.L. PARRY, O.F. CANZIANI, J.P. PALUTIKOF, P.J. VAN DER LINDEN AND C.E. HANSON, (EDS.), Cambridge University Press, Cambridge, UK: 779-810.
- SERJE, J.C., 2010: Extensive and Intensive risk in the USA: a comparative with developing economies. A contributing paper for The Global Assessment Report of Disaster Risk Reduction GAR-2011. – 27 pgs. UNISDR-GAR (ONU ISDR), Geneva, Switzerland [Informe interno].

- SEN, A., 1999: *Development as Freedom*. – 366 pgs. Knopf/Random House, New York, USA.
- SCHIPPER, L. AND M. PELLING, 2006: Disaster risk, climate change and international development: scope for, and challenges to, integration. *Disasters*, 30(1), 19-38.
- SIMONOVIC, S.P., 2010: *Systems Approach to Management of Disasters: Methods and Applications*. John Wiley and Sons, New York, NY, 348 pp.
- SJÖBERG, L., 1999a: Risk perception by the public and by experts: A dilemma in risk management. *Human Ecology Review*, 6(2).
- SJÖBERG, L., 1999b: Consequences of perceived risk: Demand for mitigation. *Journal of Risk Research*, (2), 129-149.
- UNITED NATIONS DISASTERS RELIEF CO-ORDINATOR (UNDRO), 1979: *Natural Disasters and Vulnerability Analysis, Report of Expert Group Meeting, 9-12 July, Geneva: UNDRO*.
- UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP), 2009: *Human Development Report 2009*. – 217 pgs. Palgrave/Macmillan, New York, USA.
- UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (UN ISDR), 2011: *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. – 178 pgs. UN ISDR, Geneva, Switzerland.
- UN ISDR, 2011: *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. UN ISDR, Geneva, Switzerland.
- UN ISDR, 2009: *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. – 207 pgs. UN ISDR, Geneva, Switzerland.
- UNISDR, 2009b: *Terminology on Disaster Risk Reduction*. Brochure.
- UNU-EHS, 2011: *WorldRiskReport*. Tokyo: UNU-EHS.
- WISNER, B., J.C. GAILLARD, and I. KELLMAN (eds.), 2011: *Handbook of Hazards and Disaster Risk Reduction*. Routledge, London, UK.

B. Estadística, ciencias de la computación, econometría, finanzas

- BASS, L., CLEMENTS, P., KAZMAN, R., 1988: *Software Architecture in Practice*. – 452 pgs. Addison Wesley Longman, Reading, Massachusetts, USA.
- CROUHY, M., GALAI, D., MARK, R., 2006: *The Essentials of Risk Management*. – 414 pgs. Mcgraw-Hill, New York, USA.
- FREEDMAN, D.A., 2009: *Statistical Models: Theory and Practice*. – 442 pgs. Cambridge University Press, New York, USA.
- FREEDMAN, D.A., 2010: *Statistical Models and Causal Inference: A Dialogue with the Social Sciences*. – 399 pgs. Cambridge University Press, New York, USA.

- GELMAN, A., BARLIN, JOHN B., STERN, HAL S., RUBIN, DONALD B, 2004: Bayesian Data Analysis. – 668 pgs. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, Florida, USA.
- GUPTA, S. KIM, H., 2008: Linking Structural Equation Modeling to Bayesian Networks- Decision support for customer retention in virtual communities. – European Journal of Operational Research. 190: 818-853.
- HERNAN, M., ROBINS, J., 2010: Causal Inference. – 131 pgs. Published online at <http://www.hsph.harvard.edu/faculty/miguel-hernan/causal-inference-book/>
- HOLLAND, P., 1986: Statistics and Causal Inference, Journal of the American Statistical Association, Vol. 81, No.396. pp. 945–960.
- JOUFFE, L, CONRADY, S, 2011-04: Probabilistic Latent Factor Induction & Statistical Factor Analysis [white paper]
- JOUFFE, L, CONRADY, S, 2011-09: Causal Inference & Direct Effects [white paper]
- LEE, S., SONG, X., 2003: Bayesian analysis of Structural Equation Models with Dichotomous Variables. – Statistics in Medicine. 22:3073-3088.
- LI, L., WANG, J., LEUNG, H., 2009: Using spatial analysis and Bayesian network to model vulnerability and insurance pricing of catastrophic risk. - International Journal of Geo Info Science Vol. 24, No. 12: 1759-1784.
- LYNCH, SCOTT M., 2010: Introduction to Applied Bayesian Statistics and Estimation for Social Scientists. – 357 pgs. Springer, New York, USA.
- MARRISON, CHRIS., 2002: Fundamentals of Risk Measurement. – 357 pgs. McGraw-Hill, New York, USA.
- MULAİK, STANLEY A., 2009: Linear causal modeling with structural equations. – 428 pgs. Chapman & Hall-CRC, Boca Raton, Florida, USA.
- MUTHEN, B., ASPARAUHOV, T, 2010: Bayesian SEM: A more flexible representation of substantive theory. – 75 pgs. [web: <http://www.statmodel.com/download/BSEMV4.pdf> June 2011].
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD), 2008: Handbook on Constructing Composite Indicators. Methodology and User Guide. – 158 pgs. OECD, Paris, France.
- RUBIN, D., 1975: Estimating Causal Effects of Treatments in Randomized and Nonrandomized Studies, Journal of Educational Psychology, Vol. 66, No.5, pp. 689.
- SEIBERT, A., 2000: Tools for Risk and Catastrophe Assessment in the Insurance Industry. – 6 pgs. Munich RE, Munich, Germany.
- Silva, R., Ghahramani, Z. (2009) The Hidden Life of Latent Variables: Bayesian Learning with Mixed Graph Models. – Journal of Machine Learning Research 10: 1187-1238.

SONG, X., LEE, S., 2004: Bayesian Analysis of Structural Equation Models with Nonlinear Covariates and Latent Variables. – 28 pgs. The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong, China.

TATSUKI, S., HAYASHI, H., ZOLETA-NANTES, D., BANBA, M., HASEGAWA, K., TAMURA, K., 2004: Impact of risk perception, disaster schema, resources, intention, attitude, and norms upon risk aversive behavior among Marikina city residents: Structural Equation Modeling with latent variables. – 10 pgs. Asia Conference on Earthquake Engineering 2004, Manila, Filipinas. [http://tatsuki-lab.doshisha.ac.jp/~statsuki/papers/ACEE2004/Tatsuki%20ACEE%20Paper_2003-12-15_.pdf JUne 2011].

WANG, Y., FAN, T., 2011: A Bayesian analysis on time series structural equation models. - Journal of Statistical Planning and Inference. Vol. 141, No. 6: 2071-2078.

C. Definiciones y fuentes de datos

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY (CIA), 2011: The World Factbook. – CIA, Langley, Virginia, USA.

MUNICH RE, 2009: Globus: Globe of Natural Hazards. – Munich RE, Munich, Germany. [CD-ROM].

X. Anexos

A. Variables observadas

NOTA: No todas estas variables analizadas fueron utilizadas en todos los modelos SEM por razón de limitaciones por datos, razones metodológicas, o razones técnicas del entorno de modelación LISREL que fue utilizado.

Categoría	Indicador	Lisrel nombre
EM-DAT Afectados	Earthquake	EmAffEar
	Flood	EmAffFlo
	Storm	EmAffSto
EM-DAT Costos	Earthquake	EmCstEar
	Flood	EmCstFlo
	Storm	EmCstSto
EM-DAT Cantidad	Earthquake	EmCntEar
	Flood	EmCntFlo
	Storm	EmCntSto
EM-DAT Muertes	Earthquake	EmDthEar
	Flood	EmDthFlo
	Storm	EmDthSto
EM-DA Sin casa	Earthquake	EmHlsEar
	Flood	EmHlsFlo
	Storm	EmHlsSto
EM-DAT Heridos	Earthquake	EmInjEar
	Flood	EmInjFlo
	Storm	EmInjSto
Gobernabilidad	Control of Corruption: Estimate	WgiCorru
	Government Effectiveness: Estimate	WgiEffec
	Political Stability and Absence of Violence/Terrorism, est.	WgiStabi
	Regulatory Quality: Estimate	WgiRegs
	Rule of Law: Estimate	WgiLaw
	Voice and Accountability: Estimate	WgiVoice
Exposición anual física relativa (/1M inh.)	Drought	GrRePhDr
	Earthquake	GrRePhEa
	Flood	GrRePhFl
	Landslide (Earthquake)	GrRePhLE
	Landslide (Precipitation)	GrRePhLP
	Cyclone	GrRePhCy
Clase relativa de riesgo de mortalidad	Drought	GrReMoDr
	Earthquake	GrReMoEa
	Flood	GrReMoFl
	Landslide (Earthquake)	GrReMoLE

	Landslide (Precipitation)	GrReMoFP
	Cyclone	GrReMoCy
Clase relativa de riesgo económico	Drought	GrReEcDr
	Earthquake	GrReEcEa
	Flood	GrReEcFl
	Landslide (Earthquake)	GrReEcLE
	Landslide (Precipitation)	GrReEcLP
	Cyclone	GrReEcCy
Vulnerabilidad humana	Drought	GrHuVuDr
	Earthquake	GrHuVuEa
	Flood	GrHuVuFl
	Landslide (Earthquake)	GrHuVuLE
	Landslide (Precipitation)	GrHuVuLP
	Cyclone	GrHuVuCy
DARA Valores crudos	ISO Certifications / GDP	DaD1ISOC
	Deforestation rate	DAD1Defo
	Soil degradation	DaD1Soil
	Water resources used	DaD1Wate
	Internet access	DaD3Inte
	Celular phone access	DaD3Celu
	Telephone access	DaD3Tele
	Road infrastructure	DaD3Road
	Population in slums	DaD3Slum
	Irrigation	DaD3Irig
	Fresh water access in rural areas	DaD3RuWa
	Fresh water access in urban areas	DaD3UrWa
	Waste water treatment in urban areas	DaD3UrWW
	Waste water treatment in rural areas	DaD3RuWW
	Control of Corruption	DaD4Coru
	Rule of Law	DaD4RLaw
	Regulatory quality	DaD4Regu
	Government effectiveness	DaD4Efec
	Political Stability and Absence of Violence	DaD4Stab
	Voice and Accountability	DaD4Voic
	Official development and aid assistance	DaD2Aid
	GDP growth	DaD2GDP
	Infant mortality rate	DaD2InMo
	Child labor	DaD2ChLa
	Life expectancy, both sexes	DaD2Life
	Malnourished population	DaD2Maln
	External debt	DaD2Debt
	Inflation rate	DaD2Infl
	Health spending	DaD2Heal
	Education spending	DaD2Educ
	Unemployment rate	DaD2Unem
	Income inequality	DaD2Ineq
Net migration rate	DaD2Migr	
Fertility rate	DaD2Fert	
Adolescent fertility rate	DaD2AdFe	

	Literacy rate	DaD2Lite
	Population below poverty line	DaD2Poor
	Informal Employment	DaD2Infm
DARA Valores normalizados	ISO Certifications / GDP	DND1ISOC
	Deforestation rate	DND1Defo
	Soil degradation	DND1Soil
	Water resources used	DND1Wate
	Official development and aid assistance	DND2Aid
	GDP growth	DND2GDP
	Infant mortality rate	DND2InMo
	Child labor	DND2ChLa
	Life expectancy, both sexes	DND2Life
	Malnourished population	DND2Maln
	External debt	DND2Debt
	Inflation rate	DND2Infl
	Health spending	DND2Heal
	Education spending	DND2Educ
	Unemployment rate	DND2Unem
	Income inequality	DND2Ineq
	Net migration rate	DND2Migr
	Fertility rate	DND2Fert
	Adolescent fertility rate	DND2AdFe
	Literacy rate	DND2Lite
	Population below poverty line	DND2Poor
	Informal Employment	DND2Infm
	Internet access	DND3Inte
	Celular phone access	DND3Celu
	Telephone access	DND3Tele
	Road infrastructure	DND3Road
	Population in slums	DND3Slum
	Irrigation	DND3Irig
	Fresh water access in rural areas	DND3RuWa
	Fresh water access in urban areas	DND3UrWa
	Waste water treatment in urban areas	DND3UrWW
	Waste water treatment in rural areas	DND3RuWW
	Control of Corruption	DND4Coru
	Rule of Law	DND4RLaw
	Regulatory quality	DND4Regu
	Government effectiveness	DND4Efec
	Political Stability and Absence of Violence	DND4Stab
	Voice and Accountability	DND4Voic
EM-DAT Afectados	Earthquake	EmAfEaLG
	Flood	EmAfFILG
	Storm	EmAfStLG
EM-DAT Costos	Earthquake	EmCsEaLG
	Flood	EmCsFILG
	Storm	EmCsStLG
EM-DAT Cantidad	Earthquake	EmCnEaLG
	Flood	EmCnFILG
	Storm	EmCnStLG

EM-DAT Muertos	Earthquake	EmDtEaLG
	Flood	EmDtFILG
	Storm	EmDtStLG
EM-DAT Sin casa	Earthquake	EmHsEaLG
	Flood	EmHsFILG
	Storm	EmHsStLG
EM-DAT Heridos	Earthquake	EmInEaLG
	Flood	EmInFILG
	Storm	EmInStLG
Exposición anual física relativa (per/1M inh.)	Earthquake	GrExEaLG
	Flood	GrExFILG
	Cyclone	GrExCyLG

Tabla 10.1: Variables observadas

B. Listados completos de modelos SEM finales (2-9m, 2-9l, 2-9n)

1. Modelo 2-9n: Un elemento de gobernabilidad, un elemento de riesgo

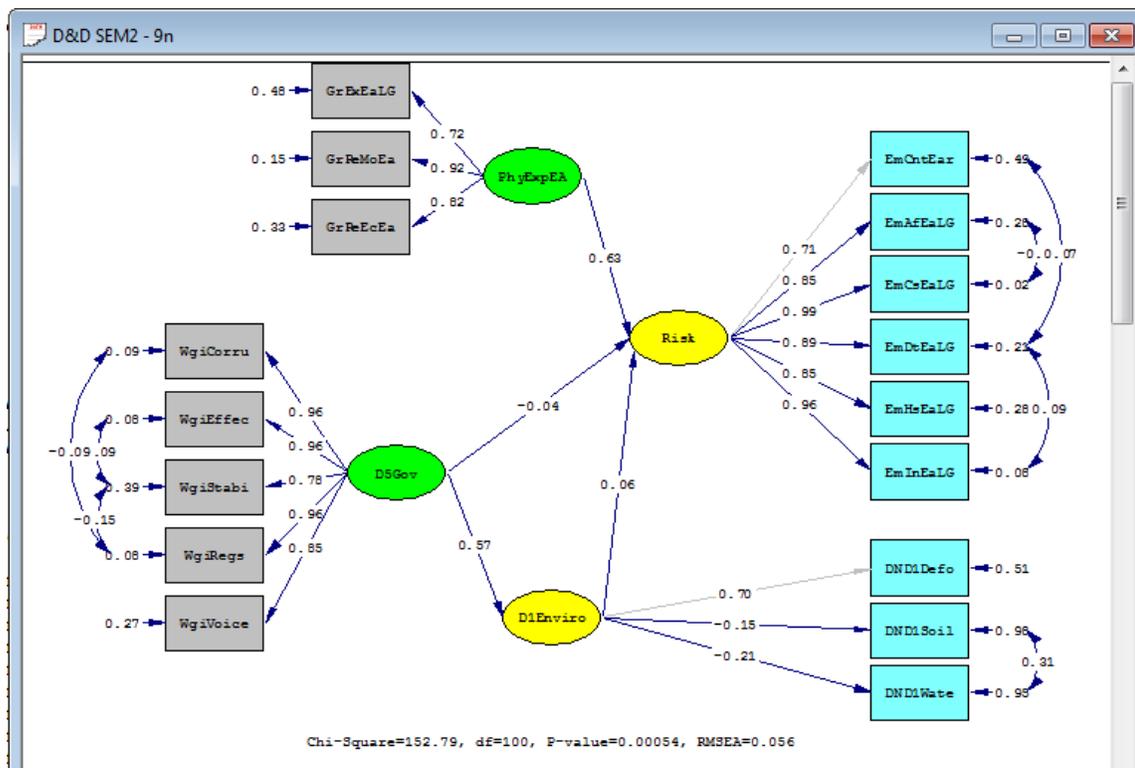


Figura 10.1: Modelo SEM 2-9n: Gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre

L I S R E L 8.80

The following lines were read from file C:\Users\Chris\Dropbox\2_PROJECTS\1106 - UCR - GdR TESIS\D&D LISREL Models\D&D SEM2 - 9n.spj:

Raw Data from file 'C:\Users\Chris\Dropbox\2_PROJECTS\1106 - UCR - GdR TESIS\D&D LISREL Models\D&D data 7 - Imputed MCMC.psf'

Latent Variables Risk PhyExpEA D5Gov D1Enviro
Relationships

DND1Defo = D1Enviro
DND1Soil = D1Enviro
DND1Wate = D1Enviro

EmCntEar = Risk
EmInEaLG = Risk
EmCsEaLG = Risk
EmDtEaLG = Risk
EmAfEaLG = Risk
EmHsEaLG = Risk

WgiStabi = D5Gov

WgiCorru = D5Gov
 WgiVoice = D5Gov

WgiEffec = D5Gov
 WgiRegs = D5Gov

GrxEaLG = PhyExpEA
 GrReMoEa = PhyExpEA
 GrReEcEa = PhyExpEA

D1Enviro = D5Gov

Risk = PhyExpEA D5Gov D1Enviro

Set Error Covariance of EmInEaLG EmDtEaLG Free
 Set Error Covariance of EmDtEaLG EmCntEar Free
 Set Error Covariance of WgiRegs WgiCorru Free
 Set Error Covariance of WgiRegs WgiStabi Free
 Set Error Covariance of WgiStabi WgiEffec Free
 Set Error Covariance of WgiVoice DND1Defo Free
 Set Error Covariance of EmCsEaLG EmAfEaLG Free
 Set Error Covariance of DND1Wate DND1Soil Free
 Set Error Covariance of GrReEcEa EmAfEaLG Free
 Set Error Covariance of GrReMoEa EmAfEaLG Free
 Set Error Covariance of GrxEaLG EmAfEaLG Free
 Set Error Covariance of GrReEcEa EmHsEaLG Free
 Set Error Covariance of GrReMoEa EmHsEaLG Free
 Set Error Covariance of GrReEcEa EmDtEaLG Free
 Path Diagram
 End of Problem

Sample Size = 168

Covariance Matrix

	EmCntEar	EmAfEaLG	EmCsEaLG	EmDtEaLG	EmHsEaLG	EmInEaLG
EmCntEar	0.21					
EmAfEaLG	0.48	3.03				
EmCsEaLG	0.33	1.36	1.00			
EmDtEaLG	0.28	1.19	0.77	0.79		
EmHsEaLG	0.43	1.84	1.23	0.98	2.10	
EmInEaLG	0.32	1.50	0.99	0.87	1.24	1.10
DND1Defo	0.04	-0.26	-0.01	-0.13	-0.10	-0.03
DND1Soil	-0.01	-0.14	-0.03	-0.15	0.11	-0.17
DND1Wate	-0.03	-0.02	-0.04	-0.09	0.17	0.00
WgiCorru	-0.05	-0.29	-0.15	-0.18	-0.27	-0.17
WgiEffec	0.00	-0.08	-0.01	-0.09	-0.07	-0.04
WgiStabi	-0.10	-0.48	-0.32	-0.32	-0.46	-0.33
WgiRegs	-0.02	-0.09	-0.04	-0.11	-0.10	-0.05
WgiVoice	-0.06	-0.21	-0.13	-0.15	-0.16	-0.14
GrxEaLG	0.23	1.64	0.74	0.50	1.15	0.77

GrReMoEa	0.56	3.03	1.45	1.13	2.32	1.45
GrReEcEa	0.61	4.05	1.84	1.26	3.07	1.81

Covariance Matrix

	DND1Defo	DND1Soil	DND1Wate	WgiCorru	WgiEffec	WgiStabi
DND1Defo	4.95					
DND1Soil	-0.47	10.42				
DND1Wate	-1.13	3.59	10.35			
WgiCorru	0.91	-0.10	-0.45	0.99		
WgiEffec	0.94	-0.19	-0.36	0.89	0.95	
WgiStabi	0.72	-0.37	-0.61	0.71	0.63	0.94
WgiRegs	0.78	-0.42	-0.17	0.82	0.88	0.58
WgiVoice	0.42	-0.48	-0.30	0.82	0.79	0.67
GrExEaLG	0.02	-0.55	-0.78	-0.27	-0.13	-0.25
GrReMoEa	-0.74	-0.16	-0.12	-0.63	-0.39	-0.67
GrReEcEa	-0.62	0.22	0.33	-0.70	-0.35	-0.84

Covariance Matrix

	WgiRegs	WgiVoice	GrExEaLG	GrReMoEa	GrReEcEa
WgiRegs	0.96				
WgiVoice	0.82	1.04			
GrExEaLG	-0.13	-0.12	3.51		
GrReMoEa	-0.38	-0.44	3.37	6.68	
GrReEcEa	-0.31	-0.40	4.03	6.68	11.43

Number of Iterations = 46

LISREL Estimates (Maximum Likelihood)

Measurement Equations

$$\text{EmCntEar} = 0.33 * \text{Risk}, \text{Errorvar.} = 0.10, R^2 = 0.51$$

(0.012)

9.08

$$\text{EmAfEaLG} = 1.47 * \text{Risk}, \text{Errorvar.} = 0.84, R^2 = 0.72$$

(0.13) (0.11)

10.92 7.78

$$\text{EmCsEaLG} = 0.99 * \text{Risk}, \text{Errorvar.} = 0.023, R^2 = 0.98$$

(0.077) (0.012)

12.78 1.85

$$\text{EmDtEaLG} = 0.79 * \text{Risk}, \text{Errorvar.} = 0.17, R^2 = 0.79$$

(0.062) (0.019)

12.79 9.08

$$\text{EmHsEaLG} = 1.22 * \text{Risk}, \text{Errorvar.} = 0.57, R^2 = 0.72$$

(0.11) (0.065)

11.13 8.79

EmInEaLG = 1.01*Risk, Errorvar.= 0.087 , R² = 0.92

(0.080) (0.015)
12.52 5.88

DND1Defo = 1.56*D1Enviro, Errorvar.= 2.50 , R² = 0.49

(1.41)
1.77

DND1Soil = - 0.49*D1Enviro, Errorvar.= 10.18, R² = 0.023

(0.37) (1.13)
-1.31 9.00

DND1Wate = - 0.68*D1Enviro, Errorvar.= 9.88 , R² = 0.045

(0.42) (1.12)
-1.63 8.84

WgiCorru = 0.95*D5Gov, Errorvar.= 0.087 , R² = 0.91

(0.057) (0.016)
16.62 5.47

WgiEffec = 0.93*D5Gov, Errorvar.= 0.074 , R² = 0.92

(0.056) (0.012)
16.83 5.94

WgiStabi = 0.76*D5Gov, Errorvar.= 0.36 , R² = 0.61

(0.064) (0.044)
11.89 8.17

WgiRegs = 0.94*D5Gov, Errorvar.= 0.076 , R² = 0.92

(0.056) (0.016)
16.74 4.63

WgiVoice = 0.87*D5Gov, Errorvar.= 0.28 , R² = 0.73

(0.063) (0.031)
13.85 9.21

GrExEaLG = 1.35*PhyExpEA, Errorvar.= 1.69 , R² = 0.52

(0.13) (0.20)
10.46 8.28

GrReMoEa = 2.35*PhyExpEA, Errorvar.= 0.95 , R² = 0.85

(0.16) (0.29)
14.86 3.24

GrReEcEa = 2.72*PhyExpEA, Errorvar.= 3.61 , R² = 0.67

(0.22) (0.54)
12.64 6.63

Error Covariance for EmCsEaLG and EmAfEaLG = -0.11

(0.023)
-4.75

Error Covariance for EmDtEaLG and EmCntEar = 0.029
(0.0079)
3.67

Error Covariance for EmInEaLG and EmDtEaLG = 0.080
(0.013)
5.96

Error Covariance for DND1Wate and DND1Soil = 3.26
(0.84)
3.88

Error Covariance for WgiStabi and WgiEffec = -0.08
(0.020)
-4.09

Error Covariance for WgiRegs and WgiCorru = -0.08
(0.014)
-6.24

Error Covariance for WgiRegs and WgiStabi = -0.14
(0.027)
-5.31

Error Covariance for WgiVoice and DND1Defo = -0.36
(0.086)
-4.14

Error Covariance for GrExEaLG and EmAfEaLG = 0.40
(0.13)
3.17

Error Covariance for GrReMoEa and EmAfEaLG = 0.83
(0.17)
4.98

Error Covariance for GrReMoEa and EmHsEaLG = 0.41
(0.098)
4.19

Error Covariance for GrReEcEa and EmAfEaLG = 1.42
(0.23)
6.32

Error Covariance for GrReEcEa and EmDtEaLG = -0.14
(0.045)
-3.09

Error Covariance for GrReEcEa and EmHsEaLG = 0.70
(0.14)
5.12

Structural Equations

$$\text{Risk} = 0.056 \cdot \text{D1Enviro} + 0.63 \cdot \text{PhyExpEA} - 0.044 \cdot \text{D5Gov}, \text{ Errorvar.} = 0.60, R^2 = 0.40$$

(0.11)	(0.088)	(0.083)	(0.12)
0.52	7.11	-0.53	5.17

$$\text{D1Enviro} = 0.57 \cdot \text{D5Gov}, \text{ Errorvar.} = 0.68, R^2 = 0.32$$

(0.10)	(0.57)
5.41	1.19

Reduced Form Equations

$$\text{Risk} = 0.63 \cdot \text{PhyExpEA} - 0.012 \cdot \text{D5Gov}, \text{ Errorvar.} = 0.60, R^2 = 0.40$$

(0.088)	(0.057)
7.11	-0.21

$$\text{D1Enviro} = 0.0 \cdot \text{PhyExpEA} + 0.57 \cdot \text{D5Gov}, \text{ Errorvar.} = 0.68, R^2 = 0.32$$

(0.10)	
5.41	

Correlation Matrix of Independent Variables

	PhyExpEA	D5Gov
PhyExpEA	1.00	
D5Gov	-0.21 (0.07)	1.00
	-2.97	

Covariance Matrix of Latent Variables

	Risk	D1Enviro	PhyExpEA	D5Gov
Risk	1.00			
D1Enviro	-0.04	1.00		
PhyExpEA	0.63	-0.12	1.00	
D5Gov	-0.14	0.57	-0.21	1.00

Goodness of Fit Statistics

Degrees of Freedom = 100

Minimum Fit Function Chi-Square = 164.17 (P = 0.00)

Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 152.79 (P = 0.00054)

Estimated Non-centrality Parameter (NCP) = 52.79

90 Percent Confidence Interval for NCP = (23.36; 90.18)

Minimum Fit Function Value = 0.98

Population Discrepancy Function Value (F0) = 0.32

90 Percent Confidence Interval for F0 = (0.14; 0.54)

Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.056

90 Percent Confidence Interval for RMSEA = (0.037; 0.073)

P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.27

Expected Cross-Validation Index (ECVI) = 1.55

90 Percent Confidence Interval for ECVI = (1.37; 1.77)

ECVI for Saturated Model = 1.83

ECVI for Independence Model = 23.83

Chi-Square for Independence Model with 136 Degrees of Freedom = 3946.22

Independence AIC = 3980.22

Model AIC = 258.79

Saturated AIC = 306.00

Independence CAIC = 4050.32

Model CAIC = 477.36

Saturated CAIC = 936.97

Normed Fit Index (NFI) = 0.96

Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0.98

Parsimony Normed Fit Index (PNFI) = 0.70

Comparative Fit Index (CFI) = 0.98

Incremental Fit Index (IFI) = 0.98

Relative Fit Index (RFI) = 0.94

Critical N (CN) = 139.15

Root Mean Square Residual (RMR) = 0.16

Standardized RMR = 0.061

Goodness of Fit Index (GFI) = 0.90

Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0.85

Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) = 0.59

Time used: 0.140 Seconds

2. Modelo 2-9m: Un elemento de gobernabilidad, 2 elementos de riesgo

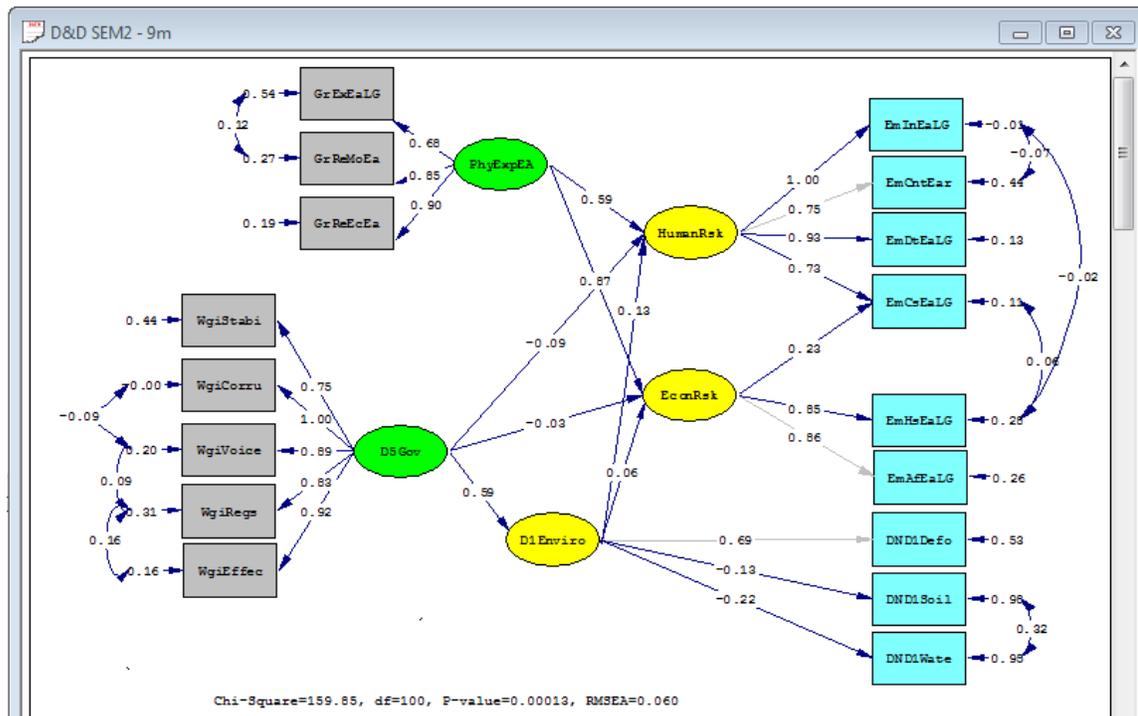


Figura 10.2: Modelo SEM 2-9m: Gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre

L I S R E L 8.80

The following lines were read from file C:\Users\Chris\Dropbox\2_PROJECTS\1106 - UCR - GdR TESIS\D&D LISREL Models\D&D SEM2 - 9m.spj:

Raw Data from file 'C:\Users\Chris\Dropbox\2_PROJECTS\1106 - UCR - GdR TESIS\D&D LISREL Models\D&D data 7 - Imputed MCMC.psf'

Latent Variables HumanRsk EconRsk PhyExpEA D5Gov D1Enviro
Relationships

DND1Defo = D1Enviro
DND1Soil = D1Enviro
DND1Wate = D1Enviro

EmCntEar = HumanRsk
EmInEaLG = HumanRsk
EmCsEaLG = HumanRsk
EmDtEaLG = HumanRsk

EmAfEaLG = EconRsk
EmCsEaLG = EconRsk
EmHsEaLG = EconRsk

WgiStabi = D5Gov
WgiCorru = D5Gov
WgiVoice = D5Gov

WgiEffec = D5Gov

WgiRegs = D5Gov

GrxEaLG = PhyExpEA

GrReMoEa = PhyExpEA

GrReEcEa = PhyExpEA

D1Enviro = D5Gov

HumanRsk = PhyExpEA D5Gov D1Enviro

EconRsk = PhyExpEA D5Gov D1Enviro

Set Covariance of HumanRsk EconRsk Free

Set Error Covariance of WgiRegs WgiEffec Free

Set Error Covariance of WgiVoice WgiRegs Free

Set Error Covariance of WgiVoice WgiCorru Free

Set Error Covariance of EmInEaLG EmCntEar Free

Set Error Covariance of DND1Wate DND1Soil Free

Set Error Covariance of WgiVoice DND1Defo Free

Set Error Covariance of EmInEaLG EmHsEaLG Free

Set Error Covariance of GrReMoEa GrxEaLG Free

Set Error Covariance of EmHsEaLG EmCsEaLG Free

Path Diagram

End of Problem

Sample Size = 168

Covariance Matrix

	EmCntEar	EmAfEaLG	EmCsEaLG	EmDtEaLG	EmHsEaLG	EmInEaLG
EmCntEar	0.21					
EmAfEaLG	0.48	3.03				
EmCsEaLG	0.33	1.36	1.00			
EmDtEaLG	0.28	1.19	0.77	0.79		
EmHsEaLG	0.43	1.84	1.23	0.98	2.10	
EmInEaLG	0.32	1.50	0.99	0.87	1.24	1.10
DND1Defo	0.04	-0.26	-0.01	-0.13	-0.10	-0.03
DND1Soil	-0.01	-0.14	-0.03	-0.15	0.11	-0.17
DND1Wate	-0.03	-0.02	-0.04	-0.09	0.17	0.00
WgiCorru	-0.05	-0.29	-0.15	-0.18	-0.27	-0.17
WgiEffec	0.00	-0.08	-0.01	-0.09	-0.07	-0.04
WgiStabi	-0.10	-0.48	-0.32	-0.32	-0.46	-0.33
WgiRegs	-0.02	-0.09	-0.04	-0.11	-0.10	-0.05
WgiVoice	-0.06	-0.21	-0.13	-0.15	-0.16	-0.14
GrxEaLG	0.23	1.64	0.74	0.50	1.15	0.77
GrReMoEa	0.56	3.03	1.45	1.13	2.32	1.45
GrReEcEa	0.61	4.05	1.84	1.26	3.07	1.81

Covariance Matrix

	DND1Defo	DND1Soil	DND1Wate	WgiCorru	WgiEffec	WgiStabi
DND1Defo	4.95					
DND1Soil	-0.47	10.42				
DND1Wate	-1.13	3.59	10.35			
WgiCorru	0.91	-0.10	-0.45	0.99		
WgiEffec	0.94	-0.19	-0.36	0.89	0.95	
WgiStabi	0.72	-0.37	-0.61	0.71	0.63	0.94
WgiRegs	0.78	-0.42	-0.17	0.82	0.88	0.58
WgiVoice	0.42	-0.48	-0.30	0.82	0.79	0.67
GrExEaLG	0.02	-0.55	-0.78	-0.27	-0.13	-0.25
GrReMoEa	-0.74	-0.16	-0.12	-0.63	-0.39	-0.67
GrReEcEa	-0.62	0.22	0.33	-0.70	-0.35	-0.84

Covariance Matrix

	WgiRegs	WgiVoice	GrExEaLG	GrReMoEa	GrReEcEa
WgiRegs	0.96				
WgiVoice	0.82	1.04			
GrExEaLG	-0.13	-0.12	3.51		
GrReMoEa	-0.38	-0.44	3.37	6.68	
GrReEcEa	-0.31	-0.40	4.03	6.68	11.43

Number of Iterations = 39

LISREL Estimates (Maximum Likelihood)

Measurement Equations

$$\text{EmCntEar} = 0.34 * \text{HumanRsk}, \text{Errorvar.} = 0.094, R^2 = 0.56$$

(0.011)
8.50

$$\text{EmAfEaLG} = 1.49 * \text{EconRsk}, \text{Errorvar.} = 0.80, R^2 = 0.74$$

(0.11)
7.55

$$\text{EmCsEaLG} = 0.72 * \text{HumanRsk} + 0.23 * \text{EconRsk}, \text{Errorvar.} = 0.11, R^2 = 0.89$$

(0.085) (0.066) (0.012)
8.51 3.40 8.45

$$\text{EmDtEaLG} = 0.83 * \text{HumanRsk}, \text{Errorvar.} = 0.10, R^2 = 0.87$$

(0.064) (0.012)
12.87 8.62

$$\text{EmHsEaLG} = 1.23 * \text{EconRsk}, \text{Errorvar.} = 0.60, R^2 = 0.72$$

(0.082) (0.079)
14.98 7.59

$$\text{EmInEaLG} = 1.05 * \text{HumanRsk}, \text{Errorvar.} = -0.0099, R^2 = 1.01$$

(0.084) (0.0087)
12.61 -1.13

W_A_R_N_I_N_G: Error variance is negative.

DND1Defo = 1.52*D1Enviro, Errorvar.= 2.60 , R² = 0.47
 (1.35)
 1.93

DND1Soil = - 0.42*D1Enviro, Errorvar.= 10.25, R² = 0.017
 (0.34) (1.13)
 -1.22 9.06

DND1Wate = - 0.70*D1Enviro, Errorvar.= 9.85 , R² = 0.048
 (0.40) (1.11)
 -1.76 8.89

WgiCorru = 1.00*D5Gov, Errorvar.= -0.0030, R² = 1.00
 (0.056) (0.026)
 17.84 -0.12

W_A_R_N_I_N_G : Error variance is negative.

WgiEffec = 0.89*D5Gov, Errorvar.= 0.15 , R² = 0.84
 (0.058) (0.026)
 15.28 5.95

WgiStabi = 0.72*D5Gov, Errorvar.= 0.42 , R² = 0.56
 (0.064) (0.047)
 11.27 8.88

WgiRegs = 0.82*D5Gov, Errorvar.= 0.30 , R² = 0.69
 (0.062) (0.035)
 13.11 8.51

WgiVoice = 0.91*D5Gov, Errorvar.= 0.21 , R² = 0.80
 (0.064) (0.041)
 14.23 5.18

GrxEaLG = 1.27*PhyExpEA, Errorvar.= 1.91 , R² = 0.46
 (0.14) (0.24)
 9.37 8.02

GrReMoEa = 2.21*PhyExpEA, Errorvar.= 1.82 , R² = 0.73
 (0.17) (0.30)
 13.18 6.07

GrReEcEa = 3.05*PhyExpEA, Errorvar.= 2.13 , R² = 0.81
 (0.21) (0.48)
 14.33 4.45

Error Covariance for EmHsEaLG and EmCsEaLG = 0.080
 (0.026)
 3.11

Error Covariance for EmlnEaLG and EmCntEar = -0.04
 (0.0063)
 -5.76

Error Covariance for EmlnEaLG and EmHsEaLG = -0.02
 (0.020)
 -1.16

Error Covariance for DND1Wate and DND1Soil = 3.30
 (0.84)
 3.95

Error Covariance for WgiRegs and WgiEffec = 0.15
 (0.026)
 5.89

Error Covariance for WgiVoice and DND1Defo = -0.43
 (0.088)
 -4.90

Error Covariance for WgiVoice and WgiCorru = -0.09
 (0.027)
 -3.38

Error Covariance for WgiVoice and WgiRegs = 0.092
 (0.018)
 4.99

Error Covariance for GrReMoEa and GrExEaLG = 0.58
 (0.21)
 2.81

Structural Equations

HumanRsk = 0.13*D1Enviro + 0.59*PhyExpEA - 0.092*D5Gov, Errorvar.= 0.64 , R² = 0.36
 (0.16) (0.086) (0.12) (0.12)
 0.79 6.83 -0.79 5.36

EconRsk = 0.060*D1Enviro + 0.87*PhyExpEA - 0.029*D5Gov, Errorvar.= 0.25 , R² = 0.75
 (0.12) (0.080) (0.093) (0.066)
 0.50 10.90 -0.31 3.75

D1Enviro = 0.59*D5Gov, Errorvar.= 0.65 , R² = 0.35
 (0.11) (0.57)
 5.50 1.14

Error Covariance for EconRsk and HumanRsk = 0.45
 (0.072)
 6.20

Reduced Form Equations

HumanRsk = 0.59*PhyExpEA - 0.016*D5Gov, Errorvar.= 0.65, R² = 0.35

(0.086) (0.064)
6.83 -0.25

EconRsk = 0.87*PhyExpEA + 0.0068*D5Gov, Errorvar.= 0.25, R² = 0.75

(0.080) (0.058)
10.90 0.12

D1Enviro = 0.0*PhyExpEA + 0.59*D5Gov, Errorvar.= 0.65, R² = 0.35

(0.11)
5.50

Correlation Matrix of Independent Variables

	PhyExpEA	D5Gov
PhyExpEA	1.00	
D5Gov	-0.23	1.00

(0.08)
-2.99

Covariance Matrix of Latent Variables

	HumanRsk	EconRsk	D1Enviro	PhyExpEA	D5Gov
HumanRsk	1.00				
EconRsk	0.96	1.00			
D1Enviro	-0.01	-0.08	1.00		
PhyExpEA	0.59	0.87	-0.14	1.00	
D5Gov	-0.15	-0.19	0.59	-0.23	1.00

W_A_R_N_I_N_G: Matrix above is not positive definite

Goodness of Fit Statistics

Degrees of Freedom = 100

Minimum Fit Function Chi-Square = 170.09 (P = 0.00)

Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 159.85 (P = 0.00013)

Estimated Non-centrality Parameter (NCP) = 59.85

90 Percent Confidence Interval for NCP = (29.28; 98.35)

Minimum Fit Function Value = 1.02

Population Discrepancy Function Value (FO) = 0.36

90 Percent Confidence Interval for FO = (0.18; 0.59)

Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.060

90 Percent Confidence Interval for RMSEA = (0.042; 0.077)

P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.17

Expected Cross-Validation Index (ECVI) = 1.59

90 Percent Confidence Interval for ECVI = (1.41; 1.82)

ECVI for Saturated Model = 1.83

ECVI for Independence Model = 23.83

Chi-Square for Independence Model with 136 Degrees of Freedom = 3946.22

Independence AIC = 3980.22

Model AIC = 265.85

Saturated AIC = 306.00

Independence CAIC = 4050.32

Model CAIC = 484.42

Saturated CAIC = 936.97

Normed Fit Index (NFI) = 0.96

Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0.97

Parsimony Normed Fit Index (PNFI) = 0.70

Comparative Fit Index (CFI) = 0.98

Incremental Fit Index (IFI) = 0.98

Relative Fit Index (RFI) = 0.94

Critical N (CN) = 134.34

Root Mean Square Residual (RMR) = 0.15

Standardized RMR = 0.059

Goodness of Fit Index (GFI) = 0.90

Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0.85

Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) = 0.59

The Modification Indices Suggest to Add an Error Covariance

Between and Decrease in Chi-Square New Estimate

GrReEcEa	EmDtEaLG	8.9	-0.14
----------	----------	-----	-------

Time used: 0.156 Seconds

3. Modelo 2-9I: 2 elementos de gobernabilidad, 2 elementos de riesgo.

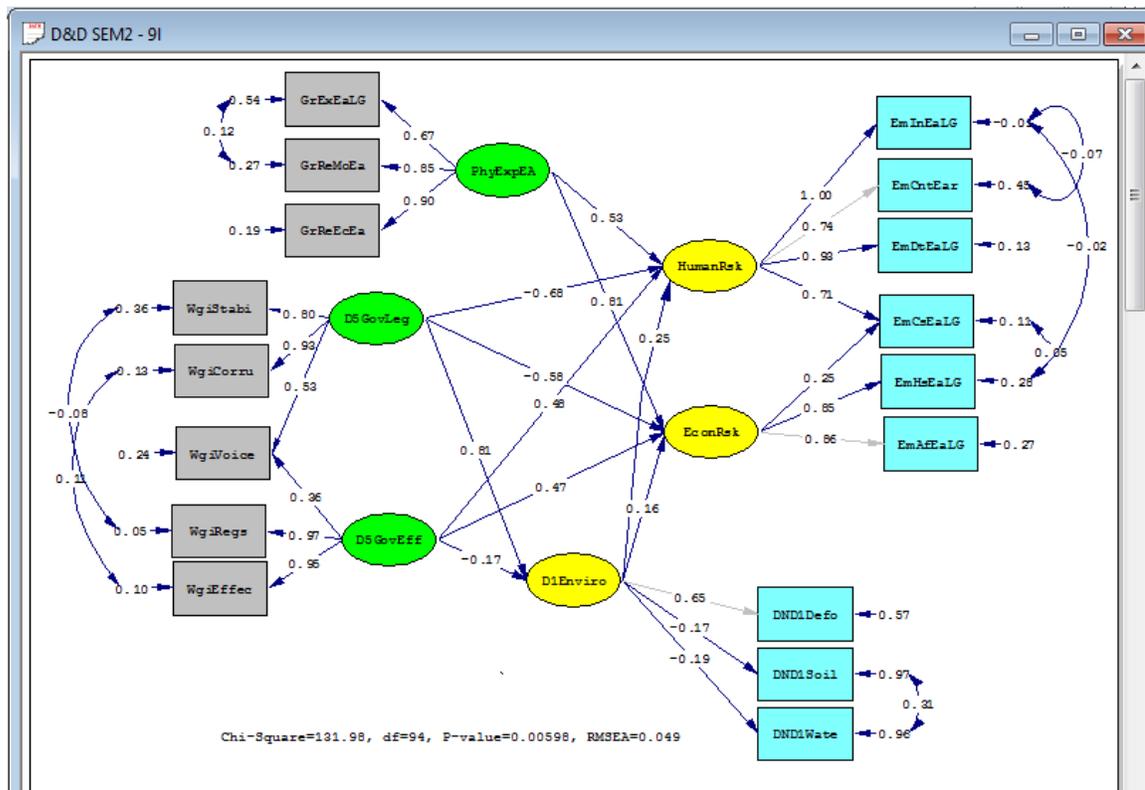


Figura 10.3: Modelo SEM 2-9I: Gobernabilidad, ambiente y riesgo de desastre

LISREL 8.80

The following lines were read from file C:\Users\Chris\Dropbox\2_PROJECTS\1106 - UCR - GdR TESIS\D&D LISREL Models\D&D SEM2 - 9I.spj:

Raw Data from file 'C:\Users\Chris\Dropbox\2_PROJECTS\1106 - UCR - GdR TESIS\D&D LISREL Models\D&D data 7 - Imputed MCMC.psf'

Latent Variables HumanRsk EconRsk PhyExpEA D5GovLeg D5GovEff D1Enviro
Relationships

DND1Defo = D1Enviro
DND1Soil = D1Enviro
DND1Wate = D1Enviro

EmCntEar = HumanRsk
EmInEaLG = HumanRsk
EmCsEaLG = HumanRsk
EmDtEaLG = HumanRsk

EmAfEaLG = EconRsk
EmCsEaLG = EconRsk
EmHsEaLG = EconRsk

WgiStabi = D5GovLeg
 WgiCorru = D5GovLeg
 WgiVoice = D5GovLeg

WgiEffec = D5GovEff
 WgiRegs = D5GovEff
 WgiVoice = D5GovEff

GrExEaLG = PhyExpEA
 GrReMoEa = PhyExpEA
 GrReEcEa = PhyExpEA

D1Enviro = D5GovEff
 D1Enviro = D5GovLeg

HumanRsk = PhyExpEA D5GovLeg D5GovEff D1Enviro
 EconRsk = PhyExpEA D5GovEff D5GovLeg D1Enviro

Set Covariance of HumanRsk EconRsk Free

Set Error Covariance of EmInEaLG EmCntEar Free
 Set Error Covariance of DND1Wate DND1Soil Free
 Set Error Covariance of WgiEffec WgiCorru Free
 Set Error Covariance of WgiVoice DND1Defo Free
 Set Error Covariance of EmInEaLG EmHsEaLG Free
 Set Error Covariance of GrReMoEa GrExEaLG Free
 Set Error Covariance of EmHsEaG EmCsEaLG Free
 Set Error Covariance of WgiRegs WgiStabi Free
 Set Error Covariance of EmHsEaLG EmCsEaLG Free
 Set Error Covariance WgiEffec DND1Defo Free
 Path Diagram
 End of Problem

Sample Size = 168

Covariance Matrix

	EmCntEar	EmAfEaLG	EmCsEaLG	EmDtEaLG	EmHsEaLG	EmInEaLG
EmCntEar	0.21					
EmAfEaLG	0.48	3.03				
EmCsEaLG	0.33	1.36	1.00			
EmDtEaLG	0.28	1.19	0.77	0.79		
EmHsEaLG	0.43	1.84	1.23	0.98	2.10	
EmInEaLG	0.32	1.50	0.99	0.87	1.24	1.10
DND1Defo	0.04	-0.26	-0.01	-0.13	-0.10	-0.03
DND1Soil	-0.01	-0.14	-0.03	-0.15	0.11	-0.17
DND1Wate	-0.03	-0.02	-0.04	-0.09	0.17	0.00
WgiCorru	-0.05	-0.29	-0.15	-0.18	-0.27	-0.17
WgiEffec	0.00	-0.08	-0.01	-0.09	-0.07	-0.04
WgiStabi	-0.10	-0.48	-0.32	-0.32	-0.46	-0.33
WgiRegs	-0.02	-0.09	-0.04	-0.11	-0.10	-0.05
WgiVoice	-0.06	-0.21	-0.13	-0.15	-0.16	-0.14

GrExEaLG	0.23	1.64	0.74	0.50	1.15	0.77
GrReMoEa	0.56	3.03	1.45	1.13	2.32	1.45
GrReEcEa	0.61	4.05	1.84	1.26	3.07	1.81

Covariance Matrix

	DND1Defo	DND1Soil	DND1Wate	WgiCorru	WgiEffec	WgiStabi
DND1Defo	4.95					
DND1Soil	-0.47	10.42				
DND1Wate	-1.13	3.59	10.35			
WgiCorru	0.91	-0.10	-0.45	0.99		
WgiEffec	0.94	-0.19	-0.36	0.89	0.95	
WgiStabi	0.72	-0.37	-0.61	0.71	0.63	0.94
WgiRegs	0.78	-0.42	-0.17	0.82	0.88	0.58
WgiVoice	0.42	-0.48	-0.30	0.82	0.79	0.67
GrExEaLG	0.02	-0.55	-0.78	-0.27	-0.13	-0.25
GrReMoEa	-0.74	-0.16	-0.12	-0.63	-0.39	-0.67
GrReEcEa	-0.62	0.22	0.33	-0.70	-0.35	-0.84

Covariance Matrix

	WgiRegs	WgiVoice	GrExEaLG	GrReMoEa	GrReEcEa
WgiRegs	0.96				
WgiVoice	0.82	1.04			
GrExEaLG	-0.13	-0.12	3.51		
GrReMoEa	-0.38	-0.44	3.37	6.68	
GrReEcEa	-0.31	-0.40	4.03	6.68	11.43

Number of Iterations = 49

LISREL Estimates (Maximum Likelihood)

Measurement Equations

$$\text{EmCntEar} = 0.34 * \text{HumanRsk}, \text{ Errorvar.} = 0.094, R^2 = 0.55$$

(0.011)
8.51

$$\text{EmAfEaLG} = 1.48 * \text{EconRsk}, \text{ Errorvar.} = 0.81, R^2 = 0.73$$

(0.11)
7.65

$$\text{EmCsEaLG} = 0.70 * \text{HumanRsk} + 0.25 * \text{EconRsk}, \text{ Errorvar.} = 0.10, R^2 = 0.89$$

(0.084) (0.066) (0.012)
8.39 3.74 8.45

$$\text{EmDtEaLG} = 0.83 * \text{HumanRsk}, \text{ Errorvar.} = 0.10, R^2 = 0.87$$

(0.064) (0.012)
12.82 8.61

$$\text{EmHsEaLG} = 1.23 * \text{EconRsk}, \text{ Errorvar.} = 0.59, R^2 = 0.72$$

(0.082)	(0.078)
14.98	7.59

EmInEaLG = 1.05*HumanRsk, Errorvar.= -0.0094 , R² = 1.01

(0.084)	(0.0087)
12.57	-1.08

W_A_R_N_I_N_G : Error variance is negative.

DND1Defo = 1.45*D1Enviro, Errorvar.= 2.81 , R² = 0.43

(1.23)
2.29

DND1Soil = - 0.55*D1Enviro, Errorvar.= 10.12, R² = 0.029

(0.35)	(1.12)
-1.57	9.02

DND1Wate = - 0.61*D1Enviro, Errorvar.= 9.98 , R² = 0.036

(0.36)	(1.11)
-1.70	8.99

WgiCorru = 0.93*D5GovLeg, Errorvar.= 0.13 , R² = 0.87

(0.059)	(0.027)
15.79	4.78

WgiEffec = 0.92*D5GovEff, Errorvar.= 0.097 , R² = 0.90

(0.056)	(0.019)
16.34	5.17

WgiStabi = 0.77*D5GovLeg, Errorvar.= 0.34 , R² = 0.64

(0.064)	(0.044)
12.18	7.83

WgiRegs = 0.95*D5GovEff, Errorvar.= 0.051 , R² = 0.95

(0.056)	(0.019)
17.05	2.68

WgiVoice = 0.54*D5GovLeg + 0.37*D5GovEff, Errorvar.= 0.24 , R² = 0.76

(0.12)	(0.12)	(0.031)
4.53	3.12	7.92

GrExEaLG = 1.26*PhyExpEA, Errorvar.= 1.91 , R² = 0.46

(0.14)	(0.24)
9.35	8.02

GrReMoEa = 2.21*PhyExpEA, Errorvar.= 1.81 , R² = 0.73

(0.17)	(0.30)
13.18	6.05

GrReEcEa = 3.05*PhyExpEA, Errorvar.= 2.13 , R² = 0.81

(0.21)	(0.48)
14.32	4.44

Error Covariance for EmHsEaLG and EmCsEaLG = 0.077
 (0.026)
 3.01

Error Covariance for EmInEaLG and EmCntEar = -0.04
 (0.0063)
 -5.72

Error Covariance for EmInEaLG and EmHsEaLG = -0.03
 (0.020)
 -1.26

Error Covariance for DND1Wate and DND1Soil = 3.26
 (0.83)
 3.92

Error Covariance for WgiEffec and DND1Defo = 0.16
 (0.058)
 2.82

Error Covariance for WgiEffec and WgiCorru = 0.11
 (0.017)
 6.04

Error Covariance for WgiRegs and WgiStabi = -0.08
 (0.019)
 -4.03

Error Covariance for WgiVoice and DND1Defo = -0.39
 (0.087)
 -4.52

Error Covariance for GrReMoEa and GrExEaLG = 0.58
 (0.21)
 2.81

Structural Equations

HumanRsk = 0.25*D1Enviro + 0.53*PhyExpEA - 0.68*D5GovLeg + 0.48*D5GovEff, Errorvar.= 0.58 , R² = 0.42
 (0.29) (0.085) (0.35) (0.23) (0.12)
 0.88 6.24 -1.96 2.13 4.82

EconRsk = 0.16*D1Enviro + 0.81*PhyExpEA - 0.58*D5GovLeg + 0.47*D5GovEff, Errorvar.= 0.21 , R² = 0.79
 (0.21) (0.079) (0.28) (0.19) (0.067)
 0.78 10.27 -2.11 2.46 3.10

D1Enviro = 0.81*D5GovLeg - 0.17*D5GovEff, Errorvar.= 0.57 , R² = 0.43
 (0.39) (0.38) (0.57)
 2.10 -0.45 1.00

Error Covariance for EconRsk and HumanRsk = 0.40
 (0.075)

5.31

Reduced Form Equations

HumanRsk = 0.53*PhyExpEA - 0.47*D5GovLeg + 0.44*D5GovEff, Errorvar.= 0.62, R² = 0.38

(0.085) (0.19) (0.18)
6.24 -2.48 2.37

EconRsk = 0.81*PhyExpEA - 0.45*D5GovLeg + 0.44*D5GovEff, Errorvar.= 0.22, R² = 0.78

(0.079) (0.17) (0.17)
10.27 -2.65 2.67

D1Enviro = 0.0*PhyExpEA + 0.81*D5GovLeg - 0.17*D5GovEff, Errorvar.= 0.57, R² = 0.43

(0.39) (0.38)
2.10 -0.45

Correlation Matrix of Independent Variables

	PhyExpEA	D5GovLeg	D5GovEff
PhyExpEA	1.00		
D5GovLeg	-0.26 (0.08)	1.00	
D5GovEff	-0.15 (0.08)	0.91 (0.02)	1.00

Covariance Matrix of Latent Variables

	HumanRsk	EconRsk	D1Enviro	PhyExpEA	D5GovLeg	D5GovEff
HumanRsk	1.00					
EconRsk	0.96	1.00				
D1Enviro	-0.02	-0.10	1.00			
PhyExpEA	0.59	0.86	-0.19	1.00		
D5GovLeg	-0.21	-0.26	0.65	-0.26	1.00	
D5GovEff	-0.08	-0.09	0.57	-0.15	0.91	1.00

W_A_R_N_I_N_G: Matrix above is not positive definite

Goodness of Fit Statistics

Degrees of Freedom = 94

Minimum Fit Function Chi-Square = 139.43 (P = 0.0016)

Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 131.98 (P = 0.0060)

Estimated Non-centrality Parameter (NCP) = 37.98

90 Percent Confidence Interval for NCP = (11.61; 72.39)

Minimum Fit Function Value = 0.83

Population Discrepancy Function Value (F0) = 0.23

90 Percent Confidence Interval for F0 = (0.070; 0.43)

Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.049
 90 Percent Confidence Interval for RMSEA = (0.027; 0.068)
 P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.51

Expected Cross-Validation Index (ECVI) = 1.50
 90 Percent Confidence Interval for ECVI = (1.34; 1.70)
 ECVI for Saturated Model = 1.83
 ECVI for Independence Model = 23.83

Chi-Square for Independence Model with 136 Degrees of Freedom = 3946.22

Independence AIC = 3980.22

Model AIC = 249.98

Saturated AIC = 306.00

Independence CAIC = 4050.32

Model CAIC = 493.30

Saturated CAIC = 936.97

Normed Fit Index (NFI) = 0.96
 Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0.98
 Parsimony Normed Fit Index (PNFI) = 0.67
 Comparative Fit Index (CFI) = 0.99
 Incremental Fit Index (IFI) = 0.99
 Relative Fit Index (RFI) = 0.95

Critical N (CN) = 155.28

Root Mean Square Residual (RMR) = 0.14
 Standardized RMR = 0.046
 Goodness of Fit Index (GFI) = 0.91
 Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0.86
 Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) = 0.56

The Modification Indices Suggest to Add an Error Covariance
 Between and Decrease in Chi-Square New Estimate
 GrReEcEa EmDtEaLG 9.1 -0.14

Time used: 0.187 Seconds

C. Modelos SEM Preliminares

1. Modelo SEM: Exposición física y ambiente

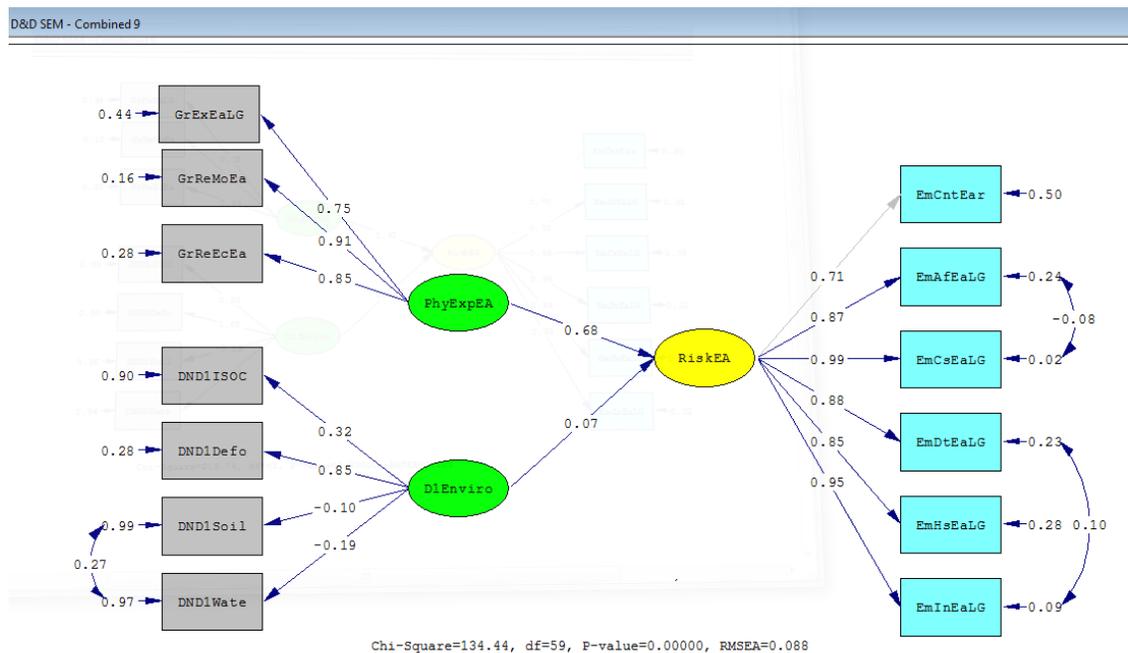


Figura 10.4: Modelo SEM de exposición física y ambiente

DATOS PRODUCIDOS POR EL SISTEMA SEM LISREL:

The following lines were read from file D&D LISREL Models\D&D SEM - Combined 9.SPJ:

Raw Data from file 'D&D LISREL Models\D&D data 6 imputed.psf'

Sample Size = 168

Latent Variables RiskEA PhyExpEA D1Enviro

Relationships

EmCntEar = 0.32*RiskEA

EmAfEaLG = RiskEA

EmCsEaLG = RiskEA

EmDtEaLG = RiskEA

EmHsEaLG = RiskEA

EmInEaLG = RiskEA

GrReMoEa = PhyExpEA

GrReEcEa = PhyExpEA

DND1ISOC = D1Enviro

DND1Defo = D1Enviro

DND1Soil = D1Enviro

DND1Wate = D1Enviro

GrExEaLG = PhyExpEA

RiskEA = PhyExpEA D1Enviro

Set the Variance of PhyExpEA to 1.00

Set the Variance of D1Enviro to 1.00

Set the Error Covariance of EmCsEaLG and EmAfEaLG Free

Set the Error Covariance of EmInEaLG and EmDtEaLG Free
 Set the Error Covariance of DND1Wate and DND1Soil Free
 Path Diagram
 End of Problem

Goodness of Fit Statistics

Degrees of Freedom = 59

Minimum Fit Function Chi-Square = 161.06 (P = 0.00)

Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 134.44 (P = 0.00)

Estimated Non-centrality Parameter (NCP) = 75.44

90 Percent Confidence Interval for NCP = (45.53; 113.07)

Minimum Fit Function Value = 0.96

Population Discrepancy Function Value (F0) = 0.45

90 Percent Confidence Interval for F0 = (0.27; 0.68)

Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.088

90 Percent Confidence Interval for RMSEA = (0.068; 0.11)

P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.0013

Expected Cross-Validation Index (ECVI) = 1.19

90 Percent Confidence Interval for ECVI = (1.01; 1.41)

ECVI for Saturated Model = 1.09

ECVI for Independence Model = 15.64

Chi-Square for Independence Model with 78 Degrees of Freedom = 2585.16

Independence AIC = 2611.16

Model AIC = 198.44

Saturated AIC = 182.00

Independence CAIC = 2664.77

Model CAIC = 330.41

Saturated CAIC = 557.28

Normed Fit Index (NFI) = 0.94

Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0.95

Parsimony Normed Fit Index (PNFI) = 0.71

Comparative Fit Index (CFI) = 0.96

Incremental Fit Index (IFI) = 0.96

Relative Fit Index (RFI) = 0.92

Critical N (CN) = 91.38

Root Mean Square Residual (RMR) = 0.24

Standardized RMR = 0.057

Goodness of Fit Index (GFI) = 0.89

Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0.83

Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) = 0.58

2. Modelo SEM de exposición física y condiciones sociales

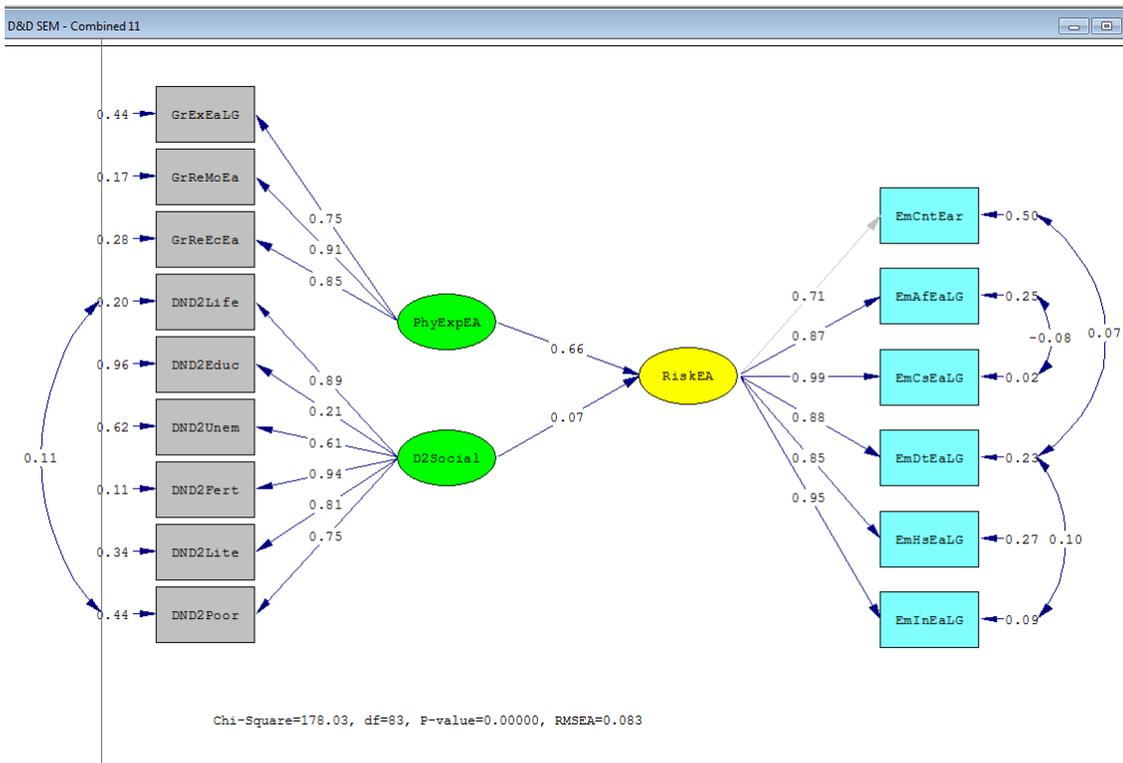


Figura 10. 5: Modelo SEM de exposición física y condiciones sociales

DATOS PRODUCIDOS POR EL SISTEMA SEM LISREL:

The following lines were read from file D&D LISREL Models\D&D SEM - Combined 10.SPJ:

Raw Data from file 'D&D LISREL Models\D&D data 6 imputed.psf'

Sample Size = 168

Latent Variables RiskEA PhyExpEA D2Social

Relationships

EmCntEar = 0.32*RiskEA

EmAfEaLG = RiskEA

EmCsEaLG = RiskEA

EmDtEaLG = RiskEA

EmHsEaLG = RiskEA

EmInEaLG = RiskEA

GrReMoEa = PhyExpEA

GrReEcEa = PhyExpEA

DND2Life = D2Social

DND2Educ = D2Social

DND2Unem = D2Social

DND2Fert = D2Social

DND2Lite = D2Social

DND2Poor = D2Social

GrExEaLG = PhyExpEA

RiskEA = PhyExpEA D2Social

Set the Variance of PhyExpEA to 1.00

Set the Variance of D2Social to 1.00

Set the Error Covariance of EmCsEaLG and EmAfEaLG Free
 Set the Error Covariance of EmDtEaLG and EmCntEar Free
 Set the Error Covariance of EmInEaLG and EmDtEaLG Free
 Set the Error Covariance of DND2Poor and DND2Life Free
 Path Diagram
 End of Problem

Goodness of Fit Statistics

Degrees of Freedom = 83

Minimum Fit Function Chi-Square = 203.71 (P = 0.00)

Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 178.03 (P = 0.00)

Estimated Non-centrality Parameter (NCP) = 95.03

90 Percent Confidence Interval for NCP = (60.41; 137.41)

Minimum Fit Function Value = 1.22

Population Discrepancy Function Value (F0) = 0.57

90 Percent Confidence Interval for F0 = (0.36; 0.82)

Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.083

90 Percent Confidence Interval for RMSEA = (0.066; 0.100)

P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.0011

Expected Cross-Validation Index (ECVI) = 1.51

90 Percent Confidence Interval for ECVI = (1.30; 1.76)

ECVI for Saturated Model = 1.44

ECVI for Independence Model = 21.00

Chi-Square for Independence Model with 105 Degrees of Freedom = 3476.71

Independence AIC = 3506.71

Model AIC = 252.03

Saturated AIC = 240.00

Independence CAIC = 3568.57

Model CAIC = 404.62

Saturated CAIC = 734.88

Normed Fit Index (NFI) = 0.94

Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0.95

Parsimony Normed Fit Index (PNFI) = 0.74

Comparative Fit Index (CFI) = 0.96

Incremental Fit Index (IFI) = 0.96

Relative Fit Index (RFI) = 0.93

Critical N (CN) = 96.00

Root Mean Square Residual (RMR) = 0.37

Standardized RMR = 0.090

Goodness of Fit Index (GFI) = 0.88

Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0.82

Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) = 0.61

3. Modelo SEM de efectividad gubernamental y riesgo de sismo

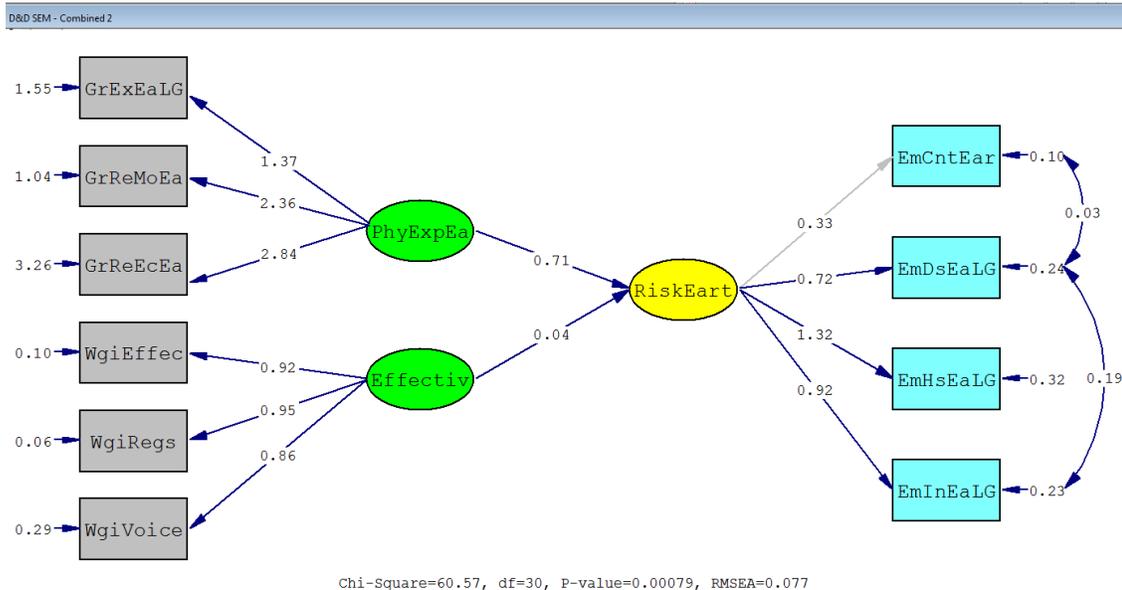


Figura 10.6: Modelo SEM de efectividad gubernamental y riesgo de sismo

DATOS PRODUCIDOS POR EL SISTEMA SEM LISREL:

The following lines were read from file D&D LISREL Models\D&D SEM - Combined 2.SPJ:

```
Raw Data from file 'D&D LISREL Models\D&D data 5.psf'
Sample Size = 172
Latent Variables RiskEart PhyExpEa Effectiv
Relationships
EmCntEar = RiskEart
EmDsEaLG = RiskEart
EmHsEaLG = RiskEart
EmInEaLG = RiskEart
GrExEaLG = PhyExpEa
GrReMoEa = PhyExpEa
GrReEcEa = PhyExpEa
WgiRegs = Effectiv
WgiEffec= Effectiv
WgiVoice= Effectiv
RiskEart = PhyExpEa Effectiv
Set the Variance of Effectiv to 1.00
Set the Variance of PhyExpEa to 1.00
Set the Error Covariance of EmDsEaLG and EmCntEar Free
Set the Error Covariance of EmInEaLG and EmDsEaLG Free
Path Diagram
End of Problem
```

Goodness of Fit Statistics

Degrees of Freedom = 30

Minimum Fit Function Chi-Square = 62.16 (P = 0.00050)
Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 60.57 (P = 0.00079)
Estimated Non-centrality Parameter (NCP) = 30.57
90 Percent Confidence Interval for NCP = (12.15; 56.76)

Minimum Fit Function Value = 0.36
Population Discrepancy Function Value (F0) = 0.18
90 Percent Confidence Interval for F0 = (0.071; 0.33)
Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.077
90 Percent Confidence Interval for RMSEA = (0.049; 0.11)
P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.057

Expected Cross-Validation Index (ECVI) = 0.65
90 Percent Confidence Interval for ECVI = (0.54; 0.80)
ECVI for Saturated Model = 0.64
ECVI for Independence Model = 10.05

Chi-Square for Independence Model with 45 Degrees of Freedom = 1698.88
Independence AIC = 1718.88
Model AIC = 110.57
Saturated AIC = 110.00
Independence CAIC = 1760.35
Model CAIC = 214.25
Saturated CAIC = 338.11

Normed Fit Index (NFI) = 0.96
Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0.97
Parsimony Normed Fit Index (PNFI) = 0.64
Comparative Fit Index (CFI) = 0.98
Incremental Fit Index (IFI) = 0.98
Relative Fit Index (RFI) = 0.95

Critical N (CN) = 140.99

Root Mean Square Residual (RMR) = 0.089
Standardized RMR = 0.045
Goodness of Fit Index (GFI) = 0.93
Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0.88
Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) = 0.51

4. Modelo SEM de riesgo sísmico y gobernabilidad

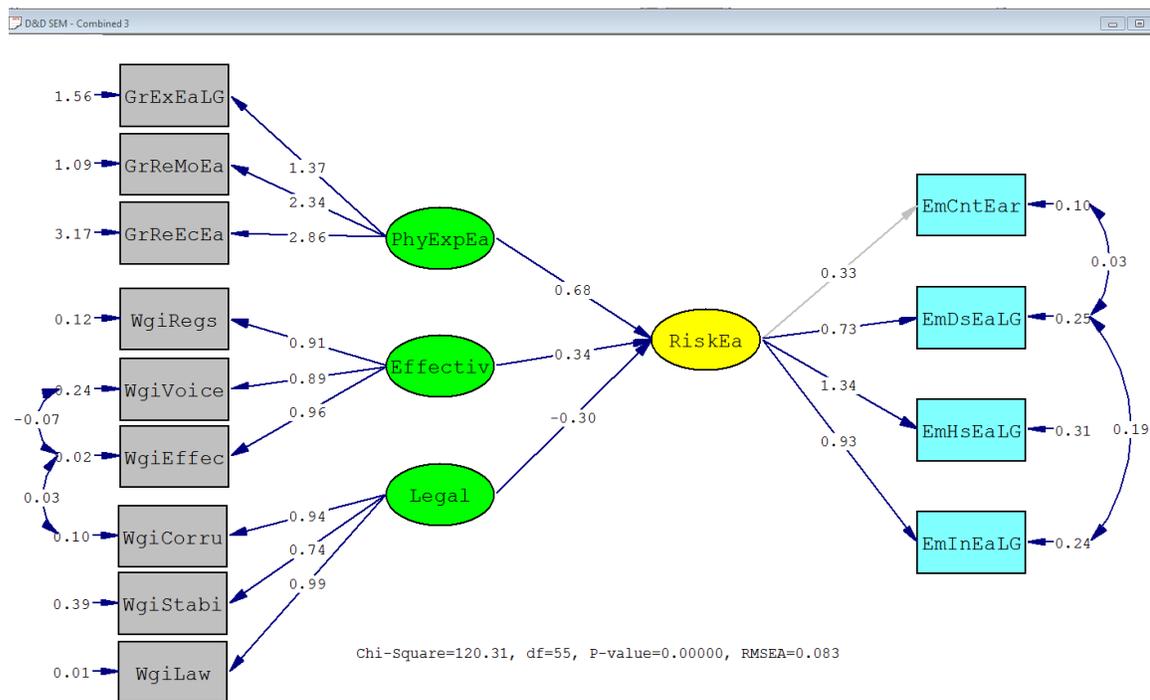


Figura 10.7: Modelo SEM de riesgo sísmico y gobernabilidad

DATOS PRODUCIDOS POR EL SISTEMA SEM LISREL:

The following lines were read from file D&D LISREL Models\D&D SEM - Combined 3.SPJ:

Raw Data from file 'D&D LISREL Models\D&D data 5.psf'

Sample Size = 172

Latent Variables RiskEa PhyExpEa Effectiv Legal

Relationships

EmCntEar = 0.33*RiskEa

EmDsEaLG = RiskEa

EmHsEaLG = RiskEa

EmInEaLG = RiskEa

WgiCorru = Legal

WgiEffec = Effectiv

WgiStabi = Legal

WgiRegs = Effectiv

WgiLaw = Legal

WgiVoice = Effectiv

GrExEaLG = PhyExpEa

GrReMoEa = PhyExpEa

GrReEcEa = PhyExpEa

RiskEa = PhyExpEa Effectiv Legal

Set the Variance of PhyExpEa to 1.00

Set the Variance of Effectiv to 1.00

Set the Variance of Legal to 1.00

Set the Error Covariance of EmDsEaLG and EmCntEar Free

Set the Error Covariance of EmInEaLG and EmDsEaLG Free

Set the Error Covariance of WgiEffec and WgiCorru Free
 Set the Error Covariance of WgiVoice and WgiEffec Free
 Path Diagram
 End of Problem

Goodness of Fit Statistics

Degrees of Freedom = 55

Minimum Fit Function Chi-Square = 128.23 (P = 0.00)

Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 120.31 (P = 0.00)

Estimated Non-centrality Parameter (NCP) = 65.31

90 Percent Confidence Interval for NCP = (37.41; 100.94)

Minimum Fit Function Value = 0.75

Population Discrepancy Function Value (FO) = 0.38

90 Percent Confidence Interval for FO = (0.22; 0.59)

Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.083

90 Percent Confidence Interval for RMSEA = (0.063; 0.10)

P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.0047

Expected Cross-Validation Index (ECVI) = 1.12

90 Percent Confidence Interval for ECVI = (0.96; 1.33)

ECVI for Saturated Model = 1.06

ECVI for Independence Model = 18.87

Chi-Square for Independence Model with 78 Degrees of Freedom = 3200.92

Independence AIC = 3226.92

Model AIC = 192.31

Saturated AIC = 182.00

Independence CAIC = 3280.84

Model CAIC = 341.62

Saturated CAIC = 559.42

Normed Fit Index (NFI) = 0.96

Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0.97

Parsimony Normed Fit Index (PNFI) = 0.68

Comparative Fit Index (CFI) = 0.98

Incremental Fit Index (IFI) = 0.98

Relative Fit Index (RFI) = 0.94

Critical N (CN) = 110.74

Root Mean Square Residual (RMR) = 0.095

Standardized RMR = 0.064

Goodness of Fit Index (GFI) = 0.90

Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0.84

Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) = 0.55

5. Modelo SEM de riesgo multiamenaza y gobernabilidad

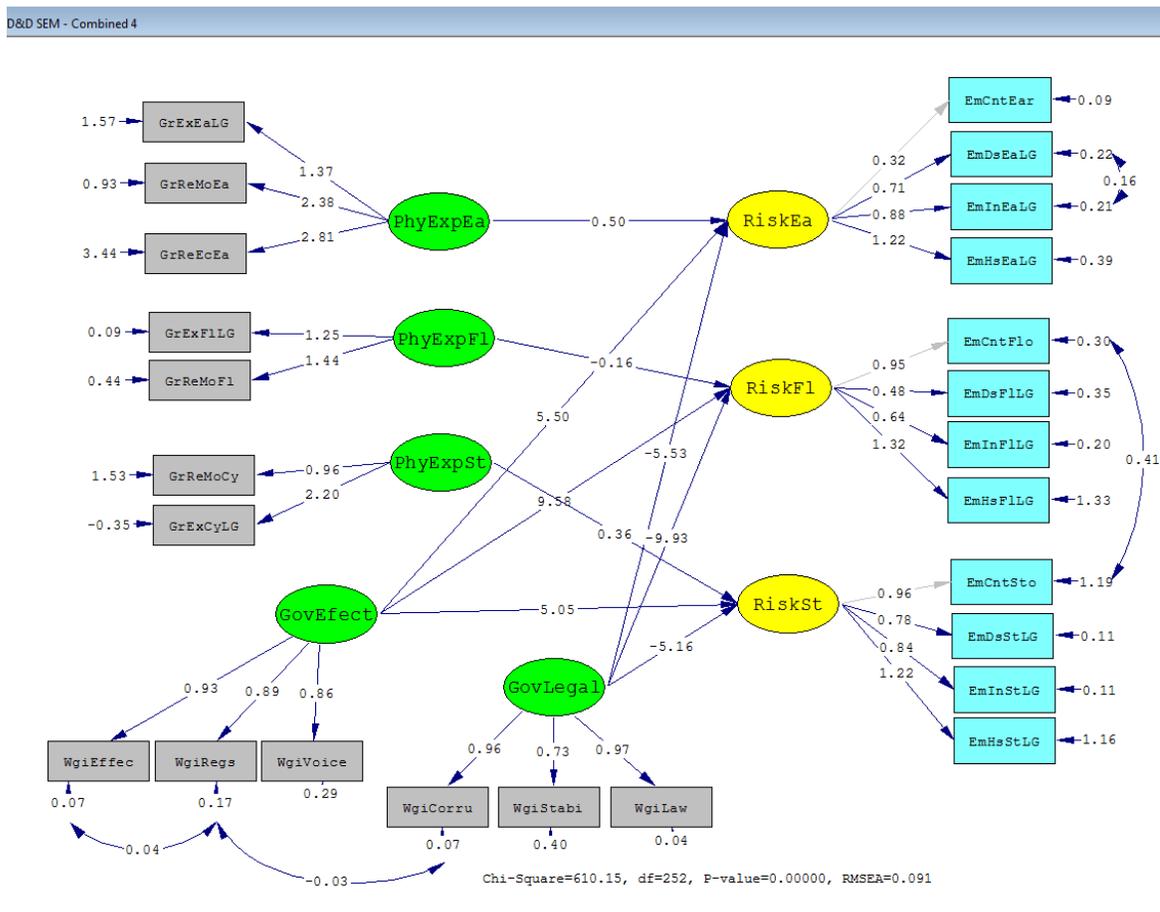


Figura 10. 8: Modelo SEM de riesgo multiamenaza y gobernabilidad

DATOS PRODUCIDOS POR EL SISTEMA SEM LISREL:

(RMSEA=.091, warnings)

Sample Size = 172

Latent Variables RiskEa RiskFl RiskSt PhyExpEa PhyExpFl PhyExpSt GovEffect GovLegal

Relationships

EmCntEar = 0.32*RiskEa

EmCntFlo = 0.95*RiskFl

EmCntSto = 0.96*RiskSt

EmDsEaLG = RiskEa

EmDsFILG = RiskFl

EmDsStLG = RiskSt

EmHsEaLG = RiskEa

EmHsFILG = RiskFl

EmHsStLG = RiskSt

EmInEaLG = RiskEa

EmInFILG = RiskFl

EmInStLG = RiskSt

WgiCorru = GovLegal

WgiEffec = GovEffect

WgiStabi = GovLegal
 WgiRegs = GovEffect
 WgiLaw = GovLegal
 WgiVoice = GovEffect
 GrExEaLG = PhyExpEa
 GrExFILG = PhyExpFI
 GrExCyLG = PhyExpSt
 GrReMoEa = PhyExpEa
 GrReMoFI = PhyExpFI
 GrReMoCy = PhyExpSt
 GrReEcEa = PhyExpEa
 RiskEa = PhyExpEa GovEffect GovLegal
 RiskFI = PhyExpFI GovEffect GovLegal
 RiskSt = PhyExpSt GovEffect GovLegal
 Set the Variance of PhyExpEa to 1.00
 Set the Variance of PhyExpFI to 1.00
 Set the Variance of PhyExpSt to 1.00
 Set the Variance of GovEffect to 1.00
 Set the Variance of GovLegal to 1.00
 Set the Error Covariance of EmCntSto and EmCntFlo Free
 Set the Error Covariance of EmInEaLG and EmDsEaLG Free
 Set the Error Covariance of WgiRegs and WgiCorru Free
 Set the Error Covariance of WgiRegs and WgiEffec Free
 Path Diagram
 End of Problem

Goodness of Fit Statistics

Degrees of Freedom = 252

Minimum Fit Function Chi-Square = 641.15 (P = 0.0)

Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 610.15 (P = 0.0)

Estimated Non-centrality Parameter (NCP) = 358.15

90 Percent Confidence Interval for NCP = (289.58; 434.42)

Minimum Fit Function Value = 3.75

Population Discrepancy Function Value (F0) = 2.09

90 Percent Confidence Interval for F0 = (1.69; 2.54)

Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.091

90 Percent Confidence Interval for RMSEA = (0.082; 0.10)

P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.00

Expected Cross-Validation Index (ECVI) = 4.42

90 Percent Confidence Interval for ECVI = (4.02; 4.87)

ECVI for Saturated Model = 3.80

ECVI for Independence Model = 42.08

Chi-Square for Independence Model with 300 Degrees of Freedom = 7146.11

Independence AIC = 7196.11

Model AIC = 756.15

Saturated AIC = 650.00

Independence CAIC = 7299.80

Model CAIC = 1058.92

Saturated CAIC = 1997.94

Normed Fit Index (NFI) = 0.91
Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0.93
Parsimony Normed Fit Index (PNFI) = 0.76
Comparative Fit Index (CFI) = 0.94
Incremental Fit Index (IFI) = 0.94
Relative Fit Index (RFI) = 0.89

Critical N (CN) = 82.92

Root Mean Square Residual (RMR) = 0.16
Standardized RMR = 0.083
Goodness of Fit Index (GFI) = 0.78
Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0.71
Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) = 0.60

D. Modelos de Análisis Factorial Confirmatorio (AFC)

1. Modelo AFC inicial del indicador

NOTA: Este modelo se provee aquí para razones conceptuales como los resultados de la modelación están bastante lejos de cualquier nivel de certeza Estadística. Esto ilustra como un modelo completo del ICCRR 201 pudo haber sido modelado como AFC dado datos suficientes para poder establecer las relaciones concretamente. Mucho del trabajo de investigación fue en base a permutaciones de este modelo, buscando hasta adonde los datos aguataban producir resultados válidos.

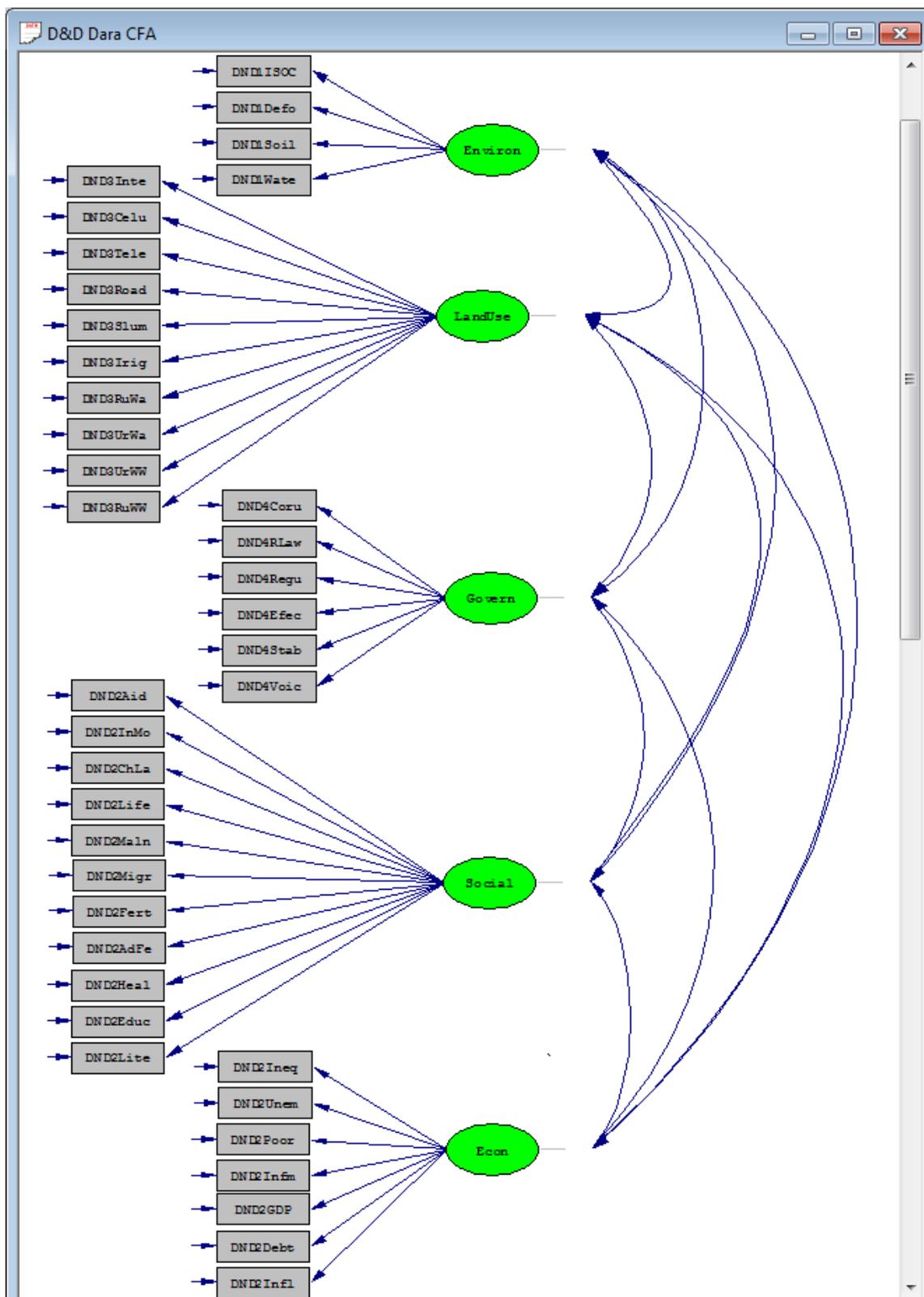


Figura 10. 9: Modelo AFC inicial del indicador ICCR

2. Modelo AFC de componente social del ICCRR

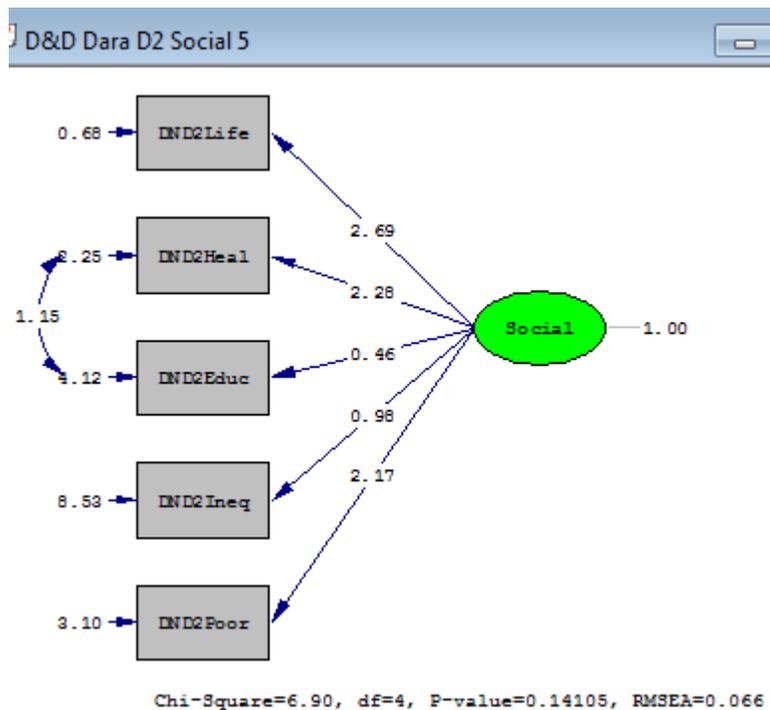


Figura 10.10: Modelo AFC de component social del ICCRR

DATOS PRODUCIDOS POR EL SISTEMA SEM LISREL:

The following lines were read from file D&D LISREL Models\D&D Dara D2 Social 5.spj:

Raw Data from file 'D&D LISREL Models\D&D data 7 - Imputed MCMC.psf'

Latent Variables Social

Relationships

DND2Life = Social

DND2Educ = Social

DND2Ineq = Social

DND2Poor = Social

DND2Heal = Social

Set Error Covariance of DND2Educ DND2Heal Free

Path Diagram

End of Problem

Sample Size = 168

Goodness of Fit Statistics

Degrees of Freedom = 4

Minimum Fit Function Chi-Square = 7.40 (P = 0.12)

Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 6.90 (P = 0.14)

Estimated Non-centrality Parameter (NCP) = 2.90

90 Percent Confidence Interval for NCP = (0.0; 14.37)

Minimum Fit Function Value = 0.044
Population Discrepancy Function Value (F0) = 0.017
90 Percent Confidence Interval for F0 = (0.0; 0.086)
Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.066
90 Percent Confidence Interval for RMSEA = (0.0; 0.15)
P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.30

Expected Cross-Validation Index (ECVI) = 0.17
90 Percent Confidence Interval for ECVI = (0.16; 0.24)
ECVI for Saturated Model = 0.18
ECVI for Independence Model = 2.18

Chi-Square for Independence Model with 10 Degrees of Freedom = 353.33

Independence AIC = 363.33
Model AIC = 28.90
Saturated AIC = 30.00
Independence CAIC = 383.95
Model CAIC = 74.27
Saturated CAIC = 91.86

Normed Fit Index (NFI) = 0.98
Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0.98
Parsimony Normed Fit Index (PNFI) = 0.39
Comparative Fit Index (CFI) = 0.99
Incremental Fit Index (IFI) = 0.99
Relative Fit Index (RFI) = 0.95

Critical N (CN) = 300.75

Root Mean Square Residual (RMR) = 0.21
Standardized RMR = 0.025
Goodness of Fit Index (GFI) = 0.98
Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0.94
Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) = 0.26

3. Modelo AFC de uso de suelos del ICCRR

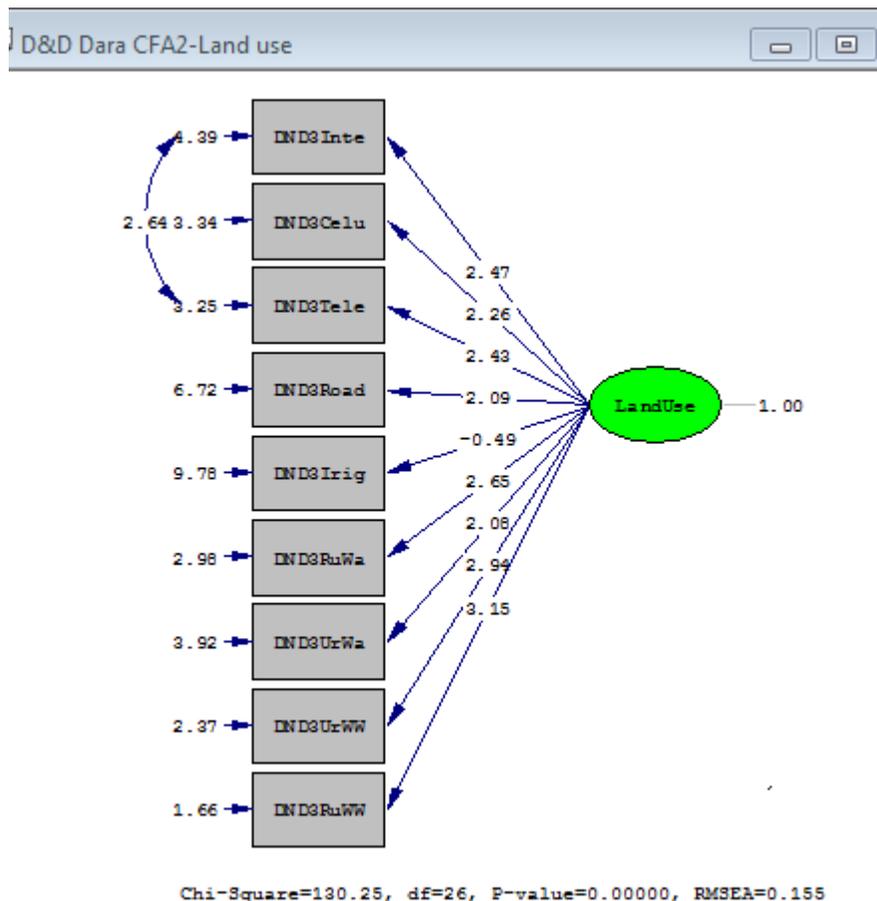


Figura 10.11: Modelo AFC de uso de suelos del ICCRR

DATOS PRODUCIDOS POR EL SISTEMA SEM LISREL PARA FIGURA 10.11:

The following lines were read from file D&D LISREL Models\D&D Dara CFA2-Land use.spj:

Raw Data from file 'D&D LISREL Models\D&D data 7 - Imputed MCMC.psf'

Latent Variables LandUse

Relationships

DND3Inte = LandUse

DND3Celu = LandUse

DND3Tele = LandUse

DND3Road = LandUse

DND3Irig = LandUse

DND3RuWa = LandUse

DND3UrWa = LandUse

DND3UrWW = LandUse

DND3RuWW = LandUse

Set Error Covariance of DND3Tele DND3Inte Free

Path Diagram

End of Problem

Goodness of Fit Statistics

Degrees of Freedom = 26

Minimum Fit Function Chi-Square = 123.20 (P = 0.00)

Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 130.25 (P = 0.00)

Estimated Non-centrality Parameter (NCP) = 104.25

90 Percent Confidence Interval for NCP = (72.32; 143.70)

Minimum Fit Function Value = 0.74

Population Discrepancy Function Value (FO) = 0.62

90 Percent Confidence Interval for FO = (0.43; 0.86)

Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.15

90 Percent Confidence Interval for RMSEA = (0.13; 0.18)

P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.00

Expected Cross-Validation Index (ECVI) = 1.01

90 Percent Confidence Interval for ECVI = (0.82; 1.24)

ECVI for Saturated Model = 0.54

ECVI for Independence Model = 12.25

Chi-Square for Independence Model with 36 Degrees of Freedom = 2026.97

Independence AIC = 2044.97

Model AIC = 168.25

Saturated AIC = 90.00

Independence CAIC = 2082.08

Model CAIC = 246.60

Saturated CAIC = 275.58

Normed Fit Index (NFI) = 0.94

Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0.93

Parsimony Normed Fit Index (PNFI) = 0.68

Comparative Fit Index (CFI) = 0.95

Incremental Fit Index (IFI) = 0.95

Relative Fit Index (RFI) = 0.92

Critical N (CN) = 62.87

Root Mean Square Residual (RMR) = 0.62

Standardized RMR = 0.064

Goodness of Fit Index (GFI) = 0.85

Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0.74

Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) = 0.49