

**EVALUACIÓN DE RIESGO ESPECÍFICO
DE BOLIVIA, GUATEMALA, JAMAICA Y PERÚ
ATN/JF-9349-RS**

Contrato BID C0009-08

**PERFIL DE RIESGO DE CATÁSTROFE
BOLIVIA**



Banco Interamericano de Desarrollo
Washington, D. C.

Diciembre de 2009



Evaluación de Riesgos Naturales
- América Latina -
Consultores en Riesgos y Desastres

Consortio de consultores:

Colombia

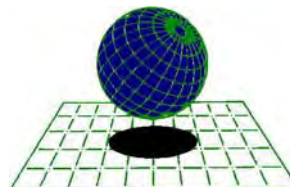
Carrera 19A # 84-14 Of 504
Edificio Torrenova
Tel. 57-1-691-6113
Fax 57-1-691-6102
Bogotá, D.C.



INGENIERIA TECNICA Y CIENTIFICA LTDA

España

Centro Internacional de Métodos Numéricos
en Ingeniería - CIMNE
Campus Nord UPC
Tel. 34-93-401-64-96
Fax 34-93-401-10-48
Barcelona



C I M N E

México

Vito Alessio Robles No. 179
Col. Hacienda de Guadalupe Chimalistac
C.P.01050 Delegación Álvaro Obregón
Tel. 55-5-616-8161
Fax 55-5-616-8162
México, D.F.



ERN Ingenieros Consultores, S. C.

ERN Evaluación de Riesgos Naturales - América Latina
www.ern-la.com

Dirección y Coordinación de Grupos de Trabajo Técnico – Consorcio ERN América Latina

Omar Darío Cardona A.
Dirección General del Proyecto

Luis Eduardo Yamín L.
Dirección Técnica ERN (COL)

Gabriel Andrés Bernal G.
Coordinación General ERN (COL)

Mario Gustavo Ordaz S.
Dirección Técnica ERN (MEX)

Eduardo Reinoso A.
Coordinación General ERN (MEX)

Alex Horia Barbat B.
Dirección Técnica CIMNE (ESP)

Martha Liliana Carreño T.
Coordinación General CIMNE (ESP)

Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo

Miguel Genaro Mora C.
Especialista ERN (COL)

César Augusto Velásquez V.
Especialista ERN (COL)

Karina Santamaría D.
Especialista ERN (COL)

Mauricio Cardona O.
Asistente Técnico ERN (COL)

Andrés Mauricio Torres C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Diana Marcela González C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Yinsury Sodel Peña V.
Asistente Técnico ERN (COL)

Johner Venicio Correa C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Carlos Eduardo Avelar F.
Especialista ERN (MEX)

Benjamín Huerta G.
Especialista ERN (MEX)

Mauro Pompeyo Niño L.
Especialista ERN (MEX)

Isaías Martínez A.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Edgar Osuna H.
Asistente Técnico ERN (MEX)

José Juan Hernández G.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Marco Torres
Asesor Asociado (MEX)

Mabel Cristina Marulanda F.
Especialista CIMNE(ESP)

Jairo Andrés Valcarcel T.
Especialista CIMNE(ESP)

Juan Pablo Londoño L.
Especialista CIMNE(ESP)

René Fernando Salgueiro B.
Especialista CIMNE(ESP)

Nieves Lantada
Especialista CIMNE(ESP)

Álvaro Martín Moreno R.
Asesor Asociado (COL)

Mario Díaz-Granados O.
Asesor Asociado (COL)

Asesores Nacionales

Osmar E. Velasco
Guatemala

Sandra Santa-Cruz
Perú

Sandra Zúñiga
Nicaragua

Beatriz Pozueta
Jamaica

Alonso Brenes
Costa Rica

Marco A. Rodriguez
Bolivia

Banco Interamericano de Desarrollo

Sergio Lacambra
Especialista Sectorial

Tsuneki Hori
Consultor Interno

Cassandra T. Rogers
Especialista Sectorial

Oscar Anil Ishizawa
Consultor Interno

Flavio Bazán
Especialista Sectorial

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1 METODOLOGÍA Y ALCANCES.....	2
2 MODELO DE ACTIVOS EXPUESTOS	5
2.1 DESARROLLO DEL MODELO	5
2.2 INFORMACIÓN GENERAL DEL PAÍS.....	7
2.2.1 Conformación de la base de datos para el análisis del riesgo	7
2.2.2 Descripción geográfica y división política del país.....	7
2.2.3 Distribución de la población	9
2.3 BASE DE DATOS DE CONSTRUCCIONES	10
2.3.1 Metodología y alcance.....	10
2.3.2 Conformación de la base de datos de construcciones	11
2.4 BASE DE DATOS DE INFRAESTRUCTURA URBANA.....	14
2.4.1 Metodología y alcance.....	14
2.4.2 Conformación de la base de datos de infraestructura urbana.....	14
2.5 BASE DE DATOS DE INFRAESTRUCTURA NACIONAL.....	16
2.5.1 Metodología y alcance.....	16
2.5.2 Conformación de la base de datos de infraestructura nacional	16
2.6 RESUMEN GENERAL DE INDICADORES DE EXPOSICIÓN.....	17
2.7 PRESENTACIÓN GRÁFICA DEL MODELO DE ACTIVOS EXPUESTOS.....	19
2.7.1 Edificaciones urbanas según área construida y valor por departamentos y sectores ..	19
2.7.2 Infraestructura urbana según valores por departamentos y sectores	24
2.7.3 Infraestructura nacional según valores por departamentos y sectores.....	25
2.7.4 Resumen de valores expuestos totales por departamentos y sectores	27
2.7.5 Información en mapas descriptivos	30
2.8 PRINCIPALES FUENTES DE INFORMACIÓN.....	39
3 RIESGO CATASTRÓFICO POR TERREMOTO.....	41
3.1 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA.....	41
3.1.1 Aspectos generales	41
3.1.2 Resultados de la amenaza sísmica.....	41
3.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA DE ACTIVOS.....	48
3.2.1 Aspectos generales	48
3.2.2 Funciones de vulnerabilidad sísmica.....	49
3.2.3 Funciones de vulnerabilidad para los elementos expuestos.....	50

3.3	EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO	53
3.3.1	Aspectos generales	53
3.3.2	Pérdidas totales a nivel país	53
3.4	CONCENTRACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO.....	56
3.4.1	Comparación de pérdidas por departamento.....	56
3.4.2	Comparación de pérdidas por sector	62
3.4.3	Pérdida máxima probable para sectores público y privado	64
3.4.4	Pérdida máxima probable para la infraestructura nacional	66
4	INFLUENCIA DEL DEDUCIBLE.....	68
5	PRIMAS PARA CAPAS DE PÉRDIDA	71
5.1	ANÁLISIS POR CAPAS PARA EL PAÍS	71
5.2	ANÁLISIS POR CAPAS DE PÉRDIDA PARA LA RESPONSABILIDAD FISCAL.....	75
6	ÍNDICES DE DEFICIT POR DESASTRE.....	79
7	REFERENCIAS	84
ANEXO 1.	INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DISPONIBLE.....	85
ANEXO 2.	METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS	86
ANEXO 3.	PROXY DE VALORES DE EXPOSICIÓN.....	92
ANEXO 4.	MODELO DE CÁLCULO DE LA AMENAZA SÍSMICA	93
ANEXO 5.	RESULTADOS POR DEPARTAMENTO	102
ANEXO 6.	RESULTADOS POR SECTOR.....	111

INTRODUCCIÓN

Una de las actividades fundamentales de la gestión del riesgo de desastres a nivel de país es la evaluación del riesgo de catástrofe, o de eventos extremos, para lo cual es necesario aplicar metodologías confiables que permitan una adecuada estimación y cuantificación del potencial de pérdidas en un tiempo de exposición determinado. No obstante, aunque se han desarrollado a nivel internacional diversas metodologías para la evaluación detallada del riesgo para diferentes tipos de amenazas naturales, pocas metodologías permiten realizar un análisis a nivel país por dos razones principales: primero, la falta de información detallada que impide la conformación de bases de datos robustas para describir la exposición y, segundo, la falta de metodologías que permitan modelar de manera integrada las amenazas, la vulnerabilidad de los elementos expuestos y el riesgo que se deriva de su respectiva convolución.

Para alcanzar, entonces, el objetivo general de identificar y cuantificar el riesgo de catástrofe de un país, es necesario utilizar e incluso desarrollar un método que permita tener en cuenta las amenazas naturales en forma integral, que incluya de la manera más completa, y en lo posible detallada, la exposición de los bienes de infraestructura –teniendo en cuenta sus principales características–, que permita tener en cuenta la vulnerabilidad específica de cada componente de dicha infraestructura y que finalmente permita la evaluación del riesgo mediante un proceso de cálculo probabilista apropiado que tenga en cuenta las incertidumbres propias de un proceso de este tipo, las inevitables limitaciones en la información y la capacidad cómputo electrónico.

En la mayoría de los casos es necesario utilizar ciertos enfoques o criterios de simplificación y agregación de información, debido a la ausencia de datos o a la inherente baja resolución de la información. Esta circunstancia en ocasiones significa sacrificar algunas características técnico-científicas o econométricas, como la exactitud y la completitud, consideradas en general como deseables e incluso como ineludibles cuando de riesgo se trata.

Este informe presenta la evaluación del riesgo catastrófico para Bolivia teniendo en cuenta que los terremotos son uno de los fenómenos naturales que pueden causar mayores consecuencias económicas para el país en un solo evento. La metodología probabilista utilizada es considerada la más robusta para este tipo de modelación e identifica los aspectos más importantes del riesgo de catástrofe con fines de protección financiera de acuerdo con la responsabilidad fiscal del Estado. Adicionalmente, los resultados del análisis pueden ser de especial utilidad para orientar las prioridades del país en materia de gestión del riesgo de desastres en general. Los fundamentos metodológicos y técnicos de esta evaluación del riesgo corresponden a los modelos realizados por este grupo consultor en el marco de la plataforma **ERN-CAPRA** (*Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment*) de arquitectura abierta, desarrollada con apoyo del BID, el Banco Mundial y la

Estrategia Internacional de Reducción de Desastres de Naciones Unidas. Detalles del modelo y su aplicación se encuentran en www.ecapra.org.

Este informe aporta insumos relevantes para la formulación y actualización de la estrategia de protección financiera del país frente al riesgo de catástrofe. En conjunto con el informe, que se entrega posteriormente las alternativas de mecanismos de retención y transferencia, el país y el BID pueden tener un orden de magnitud de los pasivos contingentes por desastres extremos y explorar alternativas financieras factibles para diseñar una cobertura de la responsabilidad fiscal del país.

1 METODOLOGÍA Y ALCANCES

El objetivo de este informe es poner a disposición del Banco y del país un documento que ilustre de manera cuantitativa el riesgo en términos físicos y económicos que se deriva de eventos naturales extremos de baja probabilidad y altas consecuencias. Esta evaluación cuantitativa del riesgo tiene como propósito que el país identifique y aplique recursos con fines de mejorar en la gestión del riesgo de desastre y reducir las futuras consecuencias que se pueden presentar. En este sentido el perfil de riesgo que aquí se presenta contribuirá a la formulación y actualización de las estrategias de país del Banco e incluir en el diálogo y la programación con el país la gestión del riesgo de manera prioritaria.

La frecuencia de eventos catastróficos es particularmente baja por lo cual la información histórica, en general, es muy limitada. Considerando las posibilidades de eventos de alta capacidad destructiva en el futuro, la estimación del riesgo debe enfocarse en modelos probabilistas los cuales pueden utilizar la limitada información histórica disponible para pronosticar, de la mejor manera posible, las consecuencias de futuros eventos considerando en forma simultánea las inevitables altas incertidumbres involucradas en los análisis.

Un país puede sufrir las consecuencias de diferentes tipos de eventos naturales; sin embargo, para efectos de esta evaluación se han tenido en cuenta únicamente la amenaza de terremoto y la amenaza por huracán, cuando es relevante. Sin desconocer los otros tipos de amenaza que pueden también generar eventos devastadores, el presente análisis se concentra en las amenazas que han demostrado en el pasado pueden generar eventos críticos y que en la mayoría de los casos contienen o serían superiores las pérdidas comparativamente a las que causan otros fenómenos más puntuales o de los que hay pocas indicios de que puedan ocurrir.

La estimación del riesgo debe ser prospectiva, anticipando eventos científicamente posibles que pueden ocurrir en el futuro. Para el caso de eventos sísmicos se utilizan bases sismológicas e ingenieriles, para desarrollar modelos de pronóstico de terremotos que permitan la estimación de daños, pérdidas y efectos de los terremotos como resultado de eventos catastróficos. Debido a las altas incertidumbres inherentes a los modelos de análisis con respecto a la severidad y a la frecuencia de ocurrencia de los eventos, el modelo de riesgo se basa en formulaciones probabilistas que incorporan dicha incertidumbre en la

evaluación del riesgo. El modelo de riesgo probabilista (MRP), construido a partir de una secuencia de módulos, cuantifica las pérdidas potenciales tal como se ilustra en la Figura 1.1.

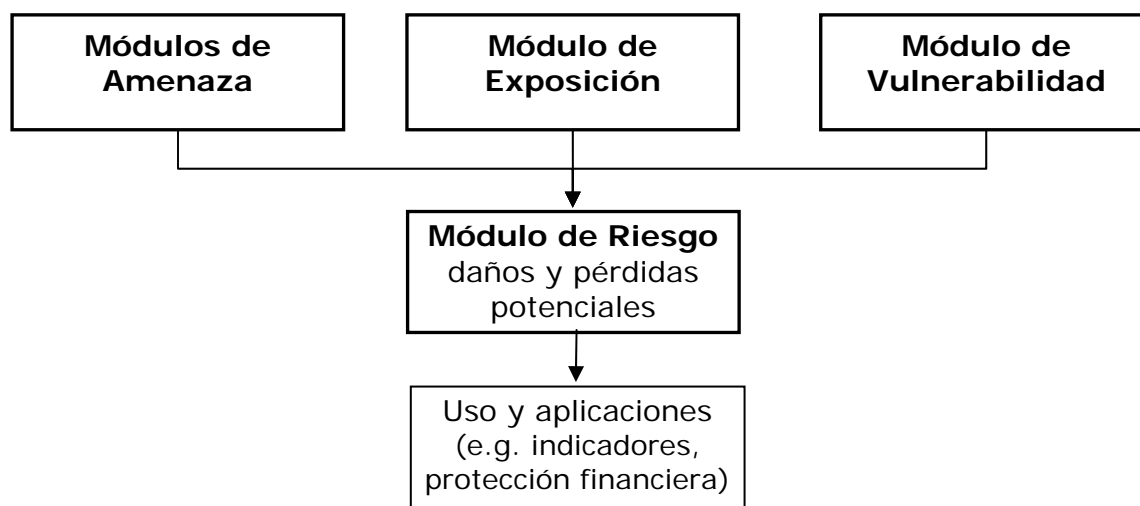


Figura 1.1
Esquema general del análisis de riesgo probabilista

Los módulos de análisis tienen las siguientes funciones específicas:

- **Módulo de amenazas:** Este módulo permite calcular la amenaza asociada a todos los eventos factibles que podrían ocurrir, a un grupo de eventos seleccionados, o incluso, a un solo evento relevante. Para cada tipo de fenómeno natural, usando este módulo, es posible calcular el valor máximo probable de la intensidad que lo caracteriza para diferentes tasas de ocurrencia o períodos de retorno. En este módulo se produce, para cada tipo de amenaza, un archivo tipo AME (.ame de amenaza), en el cual se incluyen múltiples mallas o retículas, sobre el territorio estudiado, de los diferentes parámetros de intensidad de los fenómenos considerados. Cada malla es un escenario del nivel de intensidad alcanzado por eventos históricos o eventos generados en forma estocástica con sus respectivas frecuencias de ocurrencia. Para este caso el parámetro de intensidad sísmica seleccionado es la aceleración espectral.
- **Módulo de exposición:** Este módulo da cuenta de la descripción de los elementos o activos expuestos que pueden ser afectados. Se basa en archivos en formato tipo *shape* que corresponden a la infraestructura expuesta que va a ser incluida en el análisis de riesgo. La información requerida para estos archivos es la siguiente:
 - Identificación
 - Localización
 - Valor expuesto

- Función de vulnerabilidad asociada a cada tipo de amenaza

En este caso el módulo de exposición se ha desarrollado con base en un modelo *proxy* o descripción simplificada y agregada de los activos expuestos.

- Módulo de vulnerabilidad: Este módulo permite la generación de funciones de vulnerabilidad con base en la modificación o utilización directa de funciones ya existentes que se seleccionan a partir de una librería de funciones, o mediante la generación de nuevas funciones a partir de información específica de la clase de estructura que tiene para resistir o hacer frente al fenómeno cada activo o elemento expuesto considerado. La asignación de la función de vulnerabilidad a cada uno de los elementos expuestos se realiza sobre el archivo en el formato *shape* procesado en el módulo de exposición.
- Módulo de riesgo: Este módulo realiza la convolución de la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de evaluar el riesgo o las consecuencias o efectos potenciales. El riesgo puede expresarse en términos de daño o efectos físicos, pérdida económica absoluta o relativa y/o efectos sobre la población.

Una vez estimado el daño físico esperado (valor potencial promedio y su dispersión) en porcentaje para cada uno de los activos o componentes de infraestructura incluidos en el análisis, es posible realizar estimativos de diferentes parámetros o métricas útiles para el análisis propuesto resultado de obtener la curva de probabilidad de excedencia de pérdidas (LEC o Loss Exceedance Curve en inglés). Este estudio se concentra, entonces, en la evaluación del riesgo del país (en general, por unidades geográficas y por sectores) debido a la amenaza sísmica, utilizando como medida la Pérdida Máxima Probable (PML o Probable Maximum Loss en inglés) para diferentes periodos de retorno y la Pérdida Anual Esperada (AAL o Average Annual Loss en inglés) o prima técnica de riesgo. Con base en estos resultados, se estima el riesgo específico a nivel de país y la concentración del riesgo y se pueden calcular los indicadores de pasivos contingentes (como son las figuras que actualmente se utilizan del Índice de Déficit por Desastre, IDD e IDD'). Los valores de PML y AAL son los principales resultados de este informe. Estas medidas o métricas son de especial importancia para el futuro diseño de instrumentos de retención (financieros) o transferencia de riesgo, y por lo tanto serán un aporte de especial valor para definir con estudios complementarios una estrategia de protección financiera para cubrir la responsabilidad fiscal del Estado. En el marco de este proyecto también se presenta un resumen general de las alternativas de protección financiera que podrían explorarse y que son disponibles a nivel internacional.

2 MODELO DE ACTIVOS EXPUESTOS

2.1 DESARROLLO DEL MODELO

La información de exposición frente a fenómenos naturales corresponde al inventario de bienes inmuebles e infraestructura que pueden ser afectados y se expresa en términos de activos y de población. Es un componente fundamental en el análisis o evaluación de riesgo y de su resolución y detalle depende el grado de precisión de los resultados. El modelo puede evaluarse con diferentes niveles de resolución y cuando no se cuenta con información al detalle es necesario realizar estimaciones aproximadas que representen o den cuenta de dicho inventario de activos expuesto en forma aproximada. La Figura 2.1 presenta el procedimiento general para desarrollar un modelo simplificado de activos expuestos para el país.

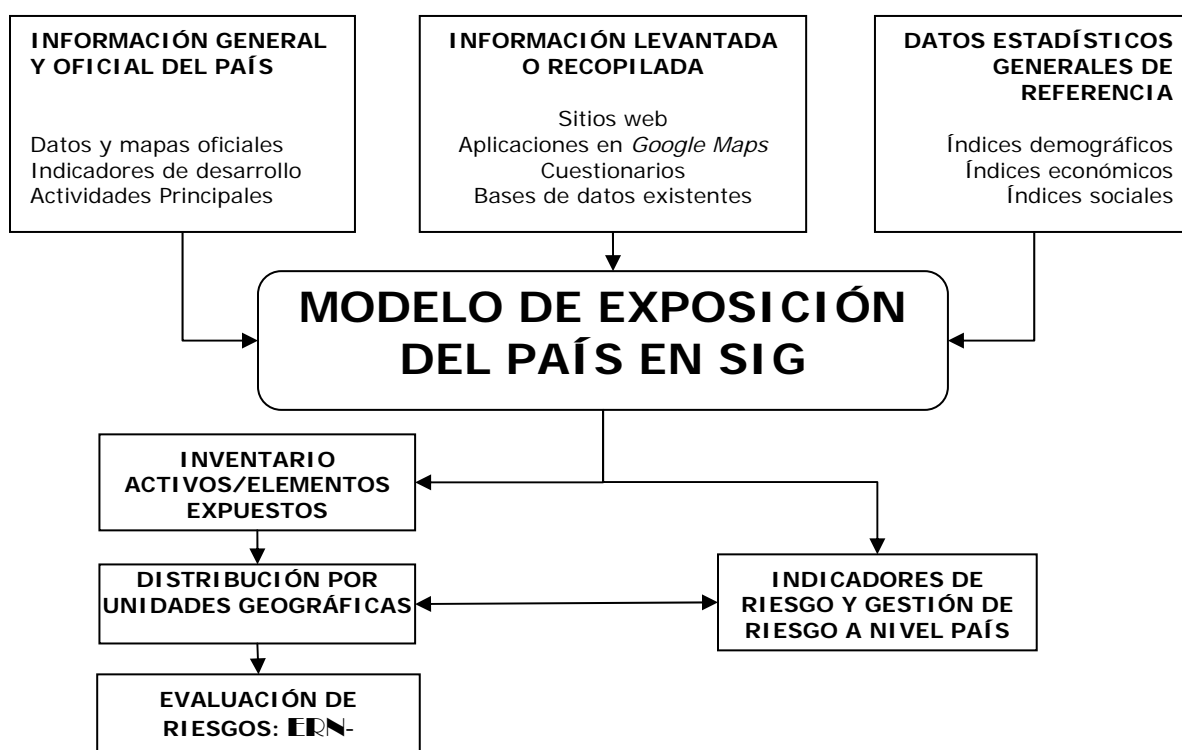


Figura 2.1
Modelo de activos expuestos

El objetivo del modelo simplificado de activos expuestos es además distribuir el inventario geográficamente, de tal manera que represente en forma general la ubicación de los activos y de la población expuesta. La exposición estará dada por tipos de componentes con su

ubicación geográfica, el valor asignado de reposición, la ocupación estimada en número de personas y las características que permitan asignar funciones de vulnerabilidad ante las diferentes amenazas con fines de estimar el riesgo. Estas bases de exposición están conformadas por indicadores de exposición en términos de tipo de infraestructura general del país y de las ciudades, su valoración económica y su ocupación humana. El modelo también intenta proporcionar información para la formulación de indicadores de riesgo. El esquema de la Figura 2.1 ilustra el modelo utilizado, en el cual la información se concentra en una base de datos para su posterior análisis y uso.

El modelo de exposición aproximado requiere las siguientes definiciones:

- (a) Caracterización geográfica y división política: el modelo se plantea mediante una categorización en las siguientes unidades:
 - i. Departamentos o provincias (unidades subnacionales)
 - ii. Municipios que conforman departamentos
 - iii. Ciudades principales que conforman municipios
 - iv. Los municipios a su vez estarían subdivididos en área rural y área urbana.

Nota: la nomenclatura puede cambiar de país en país pero en general se mantiene el carácter de división política.
- (b) Para caracterizar las diferentes zonas urbanas se plantea una zonificación en regiones homogéneas en términos de características de la infraestructura, concentración de población, actividad económica, condiciones socioeconómicas, características topográficas e importancia institucional, entre otras.
- (c) Igualmente, cuando es necesario se caracterizan las diferentes zonas rurales de los municipios para lo cual se plantea una zonificación en regiones homogéneas en términos de características de uso, densidad de construcciones, concentración de población, actividad económica, características topográficas u otras variables útiles para el análisis.

Cuando el tipo de análisis lo requiere se utilizan zonas geográficas más detalladas por ejemplo para ciudades en las cuales se incluye en el análisis el nivel de localidad, de barrio o comuna.

2.2 INFORMACIÓN GENERAL DEL PAÍS

2.2.1 Conformación de la base de datos para el análisis del riesgo

Los indicadores de exposición se desarrollan con el fin de representar la exposición física, económica y humana de un país o una ciudad en términos geográficos. Para esto se clasifican en las siguientes categorías principales:

- Construcciones de las principales ciudades del país,
- Infraestructura urbana relevante para las principales ciudades del país,
- Infraestructura relevante a nivel nacional,
- Construcciones a nivel rural (cuando sea relevante).

Adicionalmente la metodología permite incluir en forma complementaria otro tipo de elementos expuestos tales como cultivos, elementos bióticos o ambientales y en general cualquier tipo de elemento susceptible a sufrir daños por cuenta de fenómenos amenazantes. Los indicadores de exposición se desarrollan con la ayuda de una hoja electrónica de cálculo, la cual se anexa al presente informe. La hoja de cálculo en este caso es: **Proxy-Bolivia.xls** y se presenta en el Anexo 3.

2.2.2 Descripción geográfica y división política del país

Bolivia es un país ubicado en Sudamérica que limita al norte y al oriente con Brasil, al sur con Paraguay y Argentina, y al occidente con Chile y Perú. Se encuentra organizada políticamente en 9 entidades subnacionales llamados Departamentos y 112 Provincias. Bolivia posee una superficie terrestre de 1'158,742 km² y una población de 9'498,925 habitantes. La Figura 2.2 presenta la división política y/o distribución geográfica de las entidades subnacionales, es decir los departamentos.

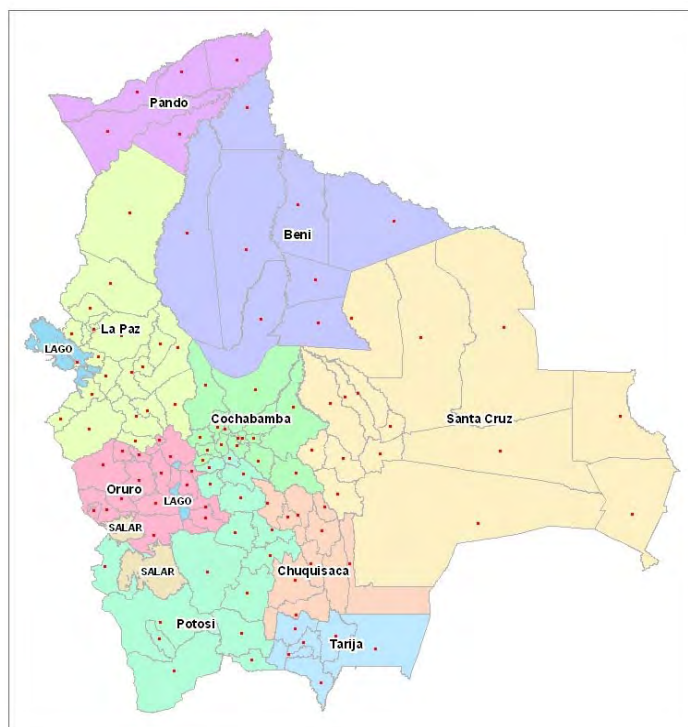


Figura 2.2

División política nacional principales entidades subnacionales y centros poblados
Ref: http://rangeland.tamu.edu/bolivia/info_geoespacial_vector_es.htm

La información geográfica recopilada se organiza de acuerdo con la Tabla 2.1 en donde se especifican las unidades subnacionales presentes en el país junto con un código o identificador único. Por otro lado la Tabla 2.2 presenta un listado de las ciudades más importantes y la entidad subnacional a la que pertenece dicha ciudad (ver Anexo 3), cada una de estas ciudades fue seleccionada de acuerdo con la población, el nivel socioeconómico y la cobertura de servicios públicos.

Tabla 2.1
Distribución de entidades subnacionales
(Muestra ilustrativa de los datos, ver Anexo 3)

ID Entidad-Sub	ID Depto	Departamento	ID Provi	Provincia
1	1	Chuquisaca	1	Belisario Boeto
2	1	Chuquisaca	2	Azurduy
3	1	Chuquisaca	3	Hernando Siles
4	1	Chuquisaca	4	Luis Calvo
5	1	Chuquisaca	5	Sud Cinti
6	1	Chuquisaca	6	Tomina
7	1	Chuquisaca	7	Yamparaez
8	1	Chuquisaca	8	Zudanez
...
...
...
107	9	Tarija	1	Aniceto Arce
108	9	Tarija	2	Aviles
109	9	Tarija	3	Mendez
110	9	Tarija	4	Burnet O'Connor
111	9	Tarija	5	Cercado
112	9	Tarija	6	Gran Chaco

Tabla 2.2
Características de las ciudades más importantes

ID Ciudad	Ciudad	ID Depto	ID Provi
1	Sucre	1	10
2	Cochabamba	2	13
3	Quillacollo	2	16
4	Sacaba	2	14
5	La Paz	4	18
6	El Alto	4	18
7	Oruro	5	16
8	Potosí	7	16
9	Santa Cruz de la Sierra	8	10
10	Tarija	9	5

2.2.3 Distribución de la población

La población total del país es de 9'498,925 habitantes (proyectada al 2008, según el Censo del año 2001 - Instituto Nacional de Estadísticas de Bolivia) y con una tasa de crecimiento anual de 2.2% entre los años 2002 a 2005 y de 2% para los años posteriores (según la CEPAL, <http://www.eclac.org>), de la cual el 62.4% pertenece a población urbana (5'929,684 Hab) y el 37.6% a población rural (3'569,241 Hab). La población está compuesta por un 38.6% de niños y adolescentes (3'670.978 Hab, 0-14 años), un 56.4% de

jóvenes y adultos (5'354,116 Hab, 15–64 años), y un 5.0% son mayores de 65 años (473,831 Hab, personas de la tercera edad).

El 36.3% (3'444,844 Hab) de la población es económicamente activa. De esta, el 29.3% pertenecen al área de agricultura, el 12.3% al área de industria y el 58.4% al área de servicios.

Considerando los diferentes niveles de desarrollo de varios segmentos de la población, se establece una clasificación de acuerdo con el nivel de complejidad del desarrollo. Esta permite la diferenciación de varios índices usados en la formulación de los indicadores de complejidad tales como densidad de población urbana, precio por metro cuadrado, niveles de ocupación, tipos y costos de servicios públicos, etc.

2.3 BASE DE DATOS DE CONSTRUCCIONES

2.3.1 Metodología y alcance

Con el objeto de identificar el valor expuesto de construcciones en el país, se realizó un inventario lo más exhaustivo posible de los centros urbanos correspondientes a cada una de las entidades subnacionales; que en este caso son departamentos. Para el análisis, el parámetro que ofrece la mayor confiabilidad es la población oficial reportada en cada unidad de división política y administrativa. Los datos de población oficial y una serie de indicadores son usados para estimar el número y tipo de desarrollos localizados en cada uno de los centros urbanos. En consecuencia, la misma información de población es usada para establecer escenarios hipotéticos de ocupación para cada una de las edificaciones de las ciudades analizadas.

Los tipos de edificación se estiman según los sectores económicos presentes y las necesidades básicas de la población como son el servicio de salud y educación, entre otros. La composición (uso) y tamaño (m²) de las construcciones se estima utilizando el censo de vivienda desagregado según los siguientes grupos de uso:

- (a) Residencial PB: capacidad económica baja (Res PB)
- (b) Residencial PM: capacidad económica media (Res PM)
- (c) Residencial PA: capacidad económica alta (Res PA)
- (d) Comercial (Com)
- (e) Industrial (Ind)
- (f) Salud privado (SalPri)
- (g) Educación privado (EduPri)
- (h) Salud pública (SalPub)
- (i) Educación pública (EduPub)
- (j) Gubernamentales (Gob)

Para la elaboración de este análisis es necesario estimar el área construida por habitante, los tipos de usos y los niveles de complejidad, el valor económico de cada metro cuadrado de desarrollo por tipo de uso y nivel de complejidad, y el nivel de ocupación por cada tipo de desarrollo en un escenario dado, expresado en términos de metros cuadrados de área construida por tipo de uso y nivel de complejidad.

La Tabla 2.3 muestra el rango de población urbana que se utiliza para cada nivel de complejidad, y la Tabla 2.4 muestra los porcentajes de población pertenecientes a sus diferentes niveles económicos y dependiendo de cada nivel de complejidad, en este caso PB, significa población económicamente baja, PM, población económicamente media y PA, población económicamente alta, los datos de pobreza fueron tomados de “las estadísticas sociales - pobreza”, para cada departamento.

Tabla 2.3
Nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Calidad de los Servicios Básicos [V 5]
Alto - 1	>100000
Medio - 2	20000 a 100000
Bajo - 3	<20000

Tabla 2.4
Indicadores de pobreza

Capacidad económica de los usuarios	Población PB	Población PM	Población PA
	[R 1]		
Alta	59%	33%	8%
Media	62%	30%	8%
Baja	69%	25%	6%

El análisis de exposición de construcciones en centros urbanos se realiza para un total de 9 departamentos que incluyen en general una población en áreas urbanas de más de 7.2 millones de habitantes.

Respecto de la información referente a valores característicos de infraestructura, la extrapolación se realizó en base a información regional tal como se indica en el numeral 2.8 del presente informe.

2.3.2 Conformación de la base de datos de construcciones

Utilizando la información anterior se conforma la base de datos de áreas construidas, de valores expuestos y de ocupación representativa para cada uno de los grupos de uso y para cada uno de los departamentos, teniendo en cuenta la población urbana. Dicha información se presenta en forma resumida de la Tabla 2.5 a la Tabla 2.8. La metodología empleada para el cálculo de los valores expuestos a nivel nacional se presenta en el Anexo 2.

Tabla 2.5
Distribución de áreas construidas por unidad subnacional y grupo de uso
(Muestra ilustrativa de los datos, ver Anexo 3)

ID_Depto	Departamento	Provincia	ID	m ² construidos										
				ResPB (m ² x10 ³)	ResPM (m ² x10 ³)	ResPA (m ² x10 ³)	Com (m ² x10 ³)	Ind (m ² x10 ³)	SalPri (m ² x10 ³)	EduPri (m ² x10 ³)	SalPub (m ² x10 ³)	EduPub (m ² x10 ³)	Gob (m ² x10 ³)	Total (m ² x10 ³)
1	Chuquisaca	Belisario Boeto	1-1	29.33	38.62	16.10	30.67	30.82	0.02	0.56	0.07	23.63	2.50	172.33
1	Chuquisaca	Azurdüy	1-2	64.84	85.37	35.60	36.23	37.20	0.07	1.19	0.22	50.38	5.54	316.63
1	Chuquisaca	Hernando Siles	1-3	87.23	114.85	47.89	102.52	35.01	0.11	1.79	0.39	75.59	7.45	472.82
1	Chuquisaca	Luis Calvo	1-4	48.92	64.42	26.86	50.67	18.08	0.06	0.91	0.20	38.26	4.18	252.56
1	Chuquisaca	Sud Cinti	1-5	58.10	76.50	31.90	50.42	23.25	0.07	0.96	0.22	40.67	4.96	287.06
1	Chuquisaca	Tomina	1-6	89.55	117.90	49.16	86.74	59.24	0.09	1.79	0.32	75.66	7.65	488.11
1	Chuquisaca	Yamparaez	1-7	70.64	93.01	38.78	56.73	147.58	0.06	1.32	0.19	55.76	6.03	470.10
1	Chuquisaca	Zudanez	1-8	78.50	103.35	43.10	69.09	88.11	0.05	1.44	0.17	60.91	6.70	451.42
1	Chuquisaca	Nor Cinti	1-9	166.07	218.66	91.18	129.52	108.03	0.17	2.97	0.57	125.12	14.18	856.45
1	Chuquisaca	Oropeza	1-10	812.59	1,387.11	553.81	1,339.46	579.74	4.70	109.59	6.59	759.98	49.25	5,602.83
2	Cochabamba	Bolivar	2-1	20.63	27.16	11.33	14.17	23.88	0.01	0.37	0.03	15.47	1.76	114.81
2	Cochabamba	Arque	2-2	56.06	73.81	30.78	38.46	38.17	0.03	0.90	0.09	37.80	4.79	280.86
2	Cochabamba	Arani	2-3	57.46	75.66	31.55	63.53	33.81	0.02	1.41	0.06	59.61	4.91	328.02
2	Cochabamba	Narciso Campero	2-4	88.42	116.42	48.55	98.27	52.46	0.07	1.93	0.23	81.52	7.55	495.42
2	Cochabamba	Capinota	2-5	61.12	80.47	33.56	63.81	44.08	0.04	1.46	0.14	61.57	5.22	351.47
2	Cochabamba	Esteban Arce	2-6	76.44	100.65	41.97	94.78	68.59	0.02	1.65	0.08	69.57	6.53	460.29
2	Cochabamba	German Jordan	2-7	75.89	99.93	41.67	130.14	70.89	0.02	1.63	0.06	68.62	6.48	495.33
Total				24,977	39,686	16,251	38,346	20,466	42	2,322	72	22,518	1,907	166,587
				166,587										

La metodología para el cálculo del área construida se explica en los numerales 1.1 a 1.7 del Anexo 2 en donde con base en los indicadores de la Tabla A2-1 y la población y fuerza laboral por sectores se calcula la cantidad de m² construidos de edificaciones regulares.

Tabla 2.6
Distribución de valores expuestos por unidad subnacional y grupo de uso
(Muestra ilustrativa de los datos, ver Anexo 3)

ID_Depto	Departamento	Provincia	ID	Valor construcciones										
				ResPB (US\$x10 ⁶)	ResPM (US\$x10 ⁶)	ResPA (US\$x10 ⁶)	Com (US\$x10 ⁶)	Ind (US\$x10 ⁶)	SalPri (US\$x10 ⁶)	EduPri (US\$x10 ⁶)	SalPub (US\$x10 ⁶)	EduPub (US\$x10 ⁶)	Gob (US\$x10 ⁶)	Total (US\$x10 ⁶)
1	Chuquisaca	Belisario Boeto	1-1	1.32	4.34	2.90	3.45	5.55	0.00	0.06	0.01	2.66	0.28	20.58
1	Chuquisaca	Azurduy	1-2	2.92	9.60	6.41	4.08	6.70	0.01	0.13	0.03	5.67	0.62	36.17
1	Chuquisaca	Hernando Siles	1-3	3.93	12.92	8.62	11.53	6.30	0.02	0.20	0.06	8.50	0.84	52.92
1	Chuquisaca	Luis Calvo	1-4	2.20	7.25	4.84	5.70	3.25	0.01	0.10	0.03	4.30	0.47	28.15
1	Chuquisaca	Sud Cinti	1-5	2.61	8.61	5.74	5.67	4.18	0.01	0.11	0.03	4.58	0.56	32.11
1	Chuquisaca	Tomina	1-6	4.03	13.26	8.85	9.76	10.66	0.02	0.20	0.05	8.51	0.86	56.20
1	Chuquisaca	Yamparaez	1-7	3.18	10.46	6.98	6.38	26.56	0.01	0.15	0.03	6.27	0.68	60.71
1	Chuquisaca	Zudanez	1-8	3.53	11.63	7.76	7.77	15.86	0.01	0.16	0.02	6.85	0.75	54.35
1	Chuquisaca	Nor Cinti	1-9	7.47	24.60	16.41	14.57	19.44	0.03	0.33	0.08	14.08	1.60	98.62
1	Chuquisaca	Oropeza	1-10	73.13	312.10	199.37	301.38	208.71	1.69	24.66	1.90	170.99	11.08	1,305.02
2	Cochabamba	Bolivar	2-1	0.93	3.06	2.04	1.59	4.30	0.00	0.04	0.00	1.74	0.20	13.90
2	Cochabamba	Arque	2-2	2.52	8.30	5.54	4.33	6.87	0.00	0.10	0.01	4.25	0.54	32.47
2	Cochabamba	Arani	2-3	2.59	8.51	5.68	7.15	6.09	0.00	0.16	0.01	6.71	0.55	37.44
2	Cochabamba	Narciso Campero	2-4	3.98	13.10	8.74	11.06	9.44	0.01	0.22	0.03	9.17	0.85	56.60
2	Cochabamba	Capinota	2-5	2.75	9.05	6.04	7.18	7.93	0.01	0.16	0.02	6.93	0.59	40.66
2	Cochabamba	Esteban Arce	2-6	3.44	11.32	7.55	10.66	12.35	0.00	0.19	0.01	7.83	0.73	54.09
2	Cochabamba	German Jordan	2-7	3.42	11.24	7.50	14.64	12.76	0.00	0.18	0.01	7.72	0.73	58.20
Total				1,907	7,772	5,058	7,711	6,364	14	501	18	4,300	354	
					34,000									

Una vez obtenida la cantidad de metros cuadrados por sector de uso se cuantifica el valor correspondiente a estas edificaciones con base en las relaciones expuestas en el numeral 2 del Anexo 2, con lo que se obtienen los valores presentados en la tabla anterior.

Tabla 2.7
Distribución de ocupación característica por entidad subnacional y grupo de uso
(Escenario día)
(Muestra ilustrativa de los datos, ver Anexo 3)

ID_Depto	Departamento	Provincia	ID	Ocupación construcciones (Día)										
				ResPB (Hab)	ResPM (Hab)	ResPA (Hab)	Com (Hab)	Ind (Hab)	SalPri (Hab)	EduPri (Hab)	SalPub (Hab)	EduPub (Hab)	Gob (Hab)	Total (Hab)
1	Chuquisaca	Belisario Boeto	1-1	1,103	1,815	605	1,104	277	2	36	7	1,512	401	6,863
1	Chuquisaca	Azurduy	1-2	2,438	4,012	1,339	1,304	335	7	76	22	3,224	886	13,644
1	Chuquisaca	Hernando Siles	1-3	3,280	5,398	1,801	3,691	315	11	115	39	4,838	1,192	20,678
1	Chuquisaca	Luis Calvo	1-4	1,840	3,028	1,010	1,824	163	6	58	20	2,449	669	11,065
1	Chuquisaca	Sud Cinti	1-5	2,185	3,596	1,199	1,815	209	7	62	22	2,603	794	12,492
1	Chuquisaca	Tomina	1-6	3,367	5,541	1,849	3,123	533	9	115	32	4,842	1,224	20,635
1	Chuquisaca	Yamparaez	1-7	2,656	4,371	1,458	2,042	1,328	6	85	19	3,569	965	16,499
1	Chuquisaca	Zudanez	1-8	2,951	4,858	1,620	2,487	793	5	92	17	3,898	1,073	17,795
1	Chuquisaca	Nor Cinti	1-9	6,244	10,277	3,428	4,663	972	17	190	57	8,008	2,269	36,124
1	Chuquisaca	Oropeza	1-10	38,192	78,233	26,029	72,331	15,653	941	15,781	1,318	109,437	11,819	369,734
2	Cochabamba	Bolivar	2-1	776	1,277	426	510	215	1	23	3	990	282	4,503
2	Cochabamba	Arque	2-2	2,108	3,469	1,157	1,384	344	3	57	9	2,419	766	11,716
2	Cochabamba	Arani	2-3	2,161	3,556	1,186	2,287	304	2	90	6	3,815	785	14,193
2	Cochabamba	Narciso Campero	2-4	3,325	5,472	1,825	3,538	472	7	124	23	5,217	1,208	21,210
2	Cochabamba	Capinota	2-5	2,298	3,782	1,262	2,297	397	4	93	14	3,941	835	14,923
2	Cochabamba	Esteban Arce	2-6	2,874	4,731	1,578	3,412	617	2	106	8	4,453	1,045	18,826
2	Cochabamba	German Jordan	2-7	2,854	4,697	1,567	4,685	638	2	104	6	4,392	1,037	19,980
Total				1,106,015	2,146,359	724,577	1,931,865	456,241	7,947	319,979	12,909	2,723,847	406,700	
				9,836,440										

Tabla 2.8
Distribución de ocupación característica por unidad subnacional y grupo de uso
(Escenario noche)
(Muestra ilustrativa de los datos, ver Anexo 3)

ID_Depto	Departamento	Provincia	ID	Ocupación construcciones (Noche)										
				ResPB (Hab)	ResPM (Hab)	ResPA (Hab)	Com (Hab)	Ind (Hab)	SalPri (Hab)	EduPri (Hab)	SalPub (Hab)	EduPub (Hab)	Gob (Hab)	Total (Hab)
1	Chuquisaca	Belisario Boeto	1-1	2,346	3,862	1,288	368	154	2	0	7	0	0	8,028
1	Chuquisaca	Azurduy	1-2	5,187	8,537	2,848	435	186	7	0	22	0	0	17,222
1	Chuquisaca	Hernando Siles	1-3	6,978	11,485	3,831	1,230	175	11	0	39	0	0	23,749
1	Chuquisaca	Luis Calvo	1-4	3,914	6,442	2,149	608	90	6	0	20	0	0	13,229
1	Chuquisaca	Sud Cinti	1-5	4,648	7,650	2,552	605	116	7	0	22	0	0	15,601
1	Chuquisaca	Tomina	1-6	7,164	11,790	3,933	1,041	296	9	0	32	0	0	24,265
1	Chuquisaca	Yamparaez	1-7	5,651	9,301	3,103	681	738	6	0	19	0	0	19,498
1	Chuquisaca	Zudanez	1-8	6,280	10,335	3,448	829	441	5	0	17	0	0	21,354
1	Chuquisaca	Nor Cinti	1-9	13,285	21,866	7,294	1,554	540	17	0	57	0	0	44,613
1	Chuquisaca	Oropeza	1-10	81,259	166,454	55,381	24,110	8,696	941	0	1,318	0	0	338,160
2	Cochabamba	Bolivar	2-1	1,650	2,716	906	170	119	1	0	3	0	0	5,566
2	Cochabamba	Arque	2-2	4,484	7,381	2,462	461	191	3	0	9	0	0	14,991
2	Cochabamba	Arani	2-3	4,597	7,566	2,524	762	169	2	0	6	0	0	15,626
2	Cochabamba	Narciso Campero	2-4	7,074	11,642	3,884	1,179	262	7	0	23	0	0	24,070
2	Cochabamba	Capinota	2-5	4,889	8,047	2,684	766	220	4	0	14	0	0	16,625
2	Cochabamba	Esteban Arce	2-6	6,115	10,065	3,358	1,137	343	2	0	8	0	0	21,029
2	Cochabamba	German Jordan	2-7	6,072	9,993	3,334	1,562	354	2	0	6	0	0	21,321
Total				2,353,224	4,566,721	1,541,654	643,955	253,467	7,947	0	12,909	0	0	
				9,379,878										

La estimación de ocupaciones tanto en el escenario de día como en el escenario nocturno se realiza de acuerdo a la cantidad de m² estimada anteriormente. En la Tabla A 2.4 del Anexo 2 se presentan los indicadores utilizados para estimar las ocupaciones, estos valores son ajustados de acuerdo a la cantidad de m² y de población asignada a cada sector de uso.

2.4 BASE DE DATOS DE INFRAESTRUCTURA URBANA

2.4.1 Metodología y alcance

Con el objeto de identificar el valor expuesto de infraestructura urbana en todo el país y utilizando el inventario de los centros urbanos correspondientes a cada una de las entidades subnacionales, se realizó una estimación de la cobertura de servicios públicos y valoración de las redes (acueducto, alcantarillado, comunicación), puentes, aeropuertos y puertos.

Las coberturas de servicios públicos e infraestructura de transporte, se estima a partir de información incluida en el censo de vivienda bajo las siguientes categorías:

- (a) Puentes urbanos
- (b) Aeropuertos
- (c) Puertos
- (d) Subestaciones de energía más redes anexas
- (e) Subestaciones de comunicaciones más antenas
- (f) Redes de acueducto y alcantarillado
- (g) Tanques y plantas de acueducto y alcantarillado
- (h) Redes de gas

En el caso de no contar con datos de cobertura de servicios públicos y valores unitarios de infraestructura la estimación se realiza a partir de valores típicos de los países de la región según el nivel de complejidad de la entidad subnacional y las densidades de población y nivel de cobertura de cada uno de estos servicios.

2.4.2 Conformación de la base de datos de infraestructura urbana

La información disponible permite consolidar la información relacionada con infraestructura de transporte y servicios públicos de centros urbanos para estimar los valores expuestos en cada uno de los sectores de análisis. La Tabla 2.9 presenta la información obtenida.

Tabla 2.9
Valores en exposición de sistema de transporte, de servicios públicos y redes
(Muestra ilustrativa de los datos, ver Anexo 3)

ID_Depto	Departamento	Provincia	ID	Aeropuertos				Puertos				Puentes	
				m ² Const	Valor const	km Pistas	Valor pistas	m ² Const	Valor const	m ² muelle	Valor muelle	No puentes	Valor
				(m ²)	(US\$x10 ⁶)	(km)	(US\$x10 ⁶)	(m ²)	(US\$x10 ⁶)	(m ²)	(US\$x10 ⁶)	Und	(US\$x10 ⁶)
8	Santa Cruz	Vallegrande	8-5	10,000	6.00	1	2.97	0	0.00	0	0.00	0	0.00
8	Santa Cruz	Jose Miguel de Velasco	8-6	20,000	20.00	1	5.94	0	0.00	0	0.00	0	0.00
8	Santa Cruz	Ignacio Warnes	8-7	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
8	Santa Cruz	German Busch	8-8	20,000	20.00	2	9.91	22,423	17.94	210	0.42	0	0.00
8	Santa Cruz	Guarayos	8-9	10,000	6.00	1	3.43	0	0.00	0	0.00	0	0.00
8	Santa Cruz	Andres Ibanez	8-10	50,000	100.00	6	62.48	0	0.00	0	0.00	84	167.96
8	Santa Cruz	Chiquitos	8-11	20,000	20.00	2	11.89	0	0.00	0	0.00	0	0.00
8	Santa Cruz	Cordillera	8-12	20,000	20.00	1	5.94	0	0.00	0	0.00	0	0.00
8	Santa Cruz	Ichilo	8-13	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
8	Santa Cruz	Nuflo de Chavez	8-14	20,000	20.00	3	16.15	0	0.00	0	0.00	0	0.00
8	Santa Cruz	Obispo Santistevan	8-15	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
9	Tarja	Aniceto Arce	9-1	20,000	20.00	1	6.25	0	0.00	0	0.00	0	0.00
9	Tarja	Aviles	9-2	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
9	Tarja	Mendez	9-3	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
9	Tarja	Burnet O'Connor	9-4	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
9	Tarja	Cercado	9-5	50,000	100.00	3	30.48	0	0.00	0	0.00	9	17.57
9	Tarja	Gran Chaco	9-6	20,000	20.00	3	16.31	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Total				720,000	1,072	73	458	22,423	18	210	0	199	398

Tabla 2.9
Valores en exposición de sistema de transporte, de servicios públicos y redes
(Continuación)
(Muestra ilustrativa de los datos, ver Anexo 3)

ID_Depto	Departamento	Provincia	ID	Subestaciones eléctricas	Subestaciones comunicación	Presas	Plantas y tanques	Redes		
				(US\$x10 ⁶)	(US\$x10 ⁶)	(US\$x10 ⁶)	(US\$x10 ⁶)	Acueducto	Alcantarillado	Gas
				(US\$x10 ⁶)	(US\$x10 ⁶)	(US\$x10 ⁶)	(US\$x10 ⁶)	(US\$x10 ⁶)	(US\$x10 ⁶)	(US\$x10 ⁶)
8	Santa Cruz	Vallegrande	8-5	0.02	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.01
8	Santa Cruz	Jose Miguel de Velasco	8-6	0.71	0.12	0.18	0.23	0.45	0.22	0.18
8	Santa Cruz	Ignacio Warnes	8-7	0.67	0.11	0.17	0.21	0.43	0.21	0.17
8	Santa Cruz	German Busch	8-8	0.74	0.12	0.18	0.23	0.47	0.23	0.18
8	Santa Cruz	Guarayos	8-9	0.05	0.00	0.00	0.03	0.07	0.03	0.02
8	Santa Cruz	Andres Ibanez	8-10	109.78	37.85	28.34	36.17	51.67	38.62	27.43
8	Santa Cruz	Chiquitos	8-11	0.72	0.12	0.18	0.23	0.46	0.22	0.18
8	Santa Cruz	Cordillera	8-12	0.94	0.16	0.24	0.30	0.60	0.29	0.24
8	Santa Cruz	Ichilo	8-13	0.86	0.14	0.22	0.27	0.55	0.27	0.22
8	Santa Cruz	Nuflo de Chavez	8-14	0.74	0.12	0.19	0.24	0.47	0.23	0.19
8	Santa Cruz	Obispo Santistevan	8-15	10.16	3.50	2.62	3.35	4.78	3.58	2.54
9	Tarja	Aniceto Arce	9-1	0.72	0.12	0.18	0.23	0.45	0.22	0.18
9	Tarja	Aviles	9-2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Tarja	Mendez	9-3	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
9	Tarja	Burnet O'Connor	9-4	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
9	Tarja	Cercado	9-5	14.32	4.94	3.70	4.72	6.74	5.04	3.58
9	Tarja	Gran Chaco	9-6	2.22	0.37	0.56	0.70	1.41	0.69	0.56
Total				422	142	109	139	202	148	106
				3,215						

2.5 BASE DE DATOS DE INFRAESTRUCTURA NACIONAL

2.5.1 Metodología y alcance

Con el objeto de cuantificar el valor expuesto de infraestructura nacional se utilizó el inventario de entidades subnacionales junto con los centros poblados y tipos de servicios que disponen. Con base en esto se realizó una estimación de la cobertura de servicios y valoración de los componentes de infraestructura tales como hidroeléctricas, redes de interconexión nacional, líneas de transporte de hidrocarburos y redes viales nacionales.

La infraestructura nacional se clasifica en las siguientes categorías:

- (a) Vías red primaria
- (b) Vías red secundaria
- (c) Hidroeléctricas
- (d) Presas
- (e) Plantas térmicas
- (f) Subestaciones de energía más redes anexas
- (g) Subestaciones de comunicaciones más antenas
- (h) Subestaciones de combustible y gas más redes anexas.

La asignación de valores sobre la infraestructura descrita anteriormente se realiza bajo el estimativo de cobertura de la población con los servicios relacionados a cada tipo de infraestructura, la producción energética del país, el número de líneas móviles y fijas y del nivel de hidrocarburos explotados. Los anteriores valores se ubican geográficamente respecto de la densidad de población y los centros de producción.

2.5.2 Conformación de la base de datos de infraestructura nacional

La información disponible permite consolidar la información relacionada con infraestructura nacional de transporte y servicios públicos para estimar los valores expuestos en cada uno de los sectores de análisis. La Tabla 2.10 y la Tabla 2.11 presentan la información resultante.

Tabla 2.10
Valores de exposición de la red vial nacional
(Muestra ilustrativa de los datos, ver Anexo 3)

ID_Depto	Departamento	Provincia	ID	Red Primaria		Red Secundaria		Red Primaria		Red Secundaria	
				km de via	Valor vias	km de via	Valor vias	km puentes	Valor puentes	km puente	Valor puentes
				(km)	(CostoUS\$ x 10 ⁶)	(km)	(CostoUS\$ x 10 ⁶)	(km)	(CostoUS\$ x 10 ⁶)	(km)	(CostoUS\$ x 10 ⁶)
8	Santa Cruz	Vallegrande	8-5	178.95	465.26	145.31	47.23	0.63	12.54	0.30	4.52
8	Santa Cruz	Jose Miguel de Velasco	8-6	105.25	273.65	1,304.76	424.05	1.25	25.08	0.64	9.55
8	Santa Cruz	Ignacio Warnes	8-7	0.00	0.00	225.71	73.36	0.00	0.00	0.07	1.01
8	Santa Cruz	German Busch	8-8	0.00	0.00	895.58	291.06	0.00	0.00	0.07	1.01
8	Santa Cruz	Guarayos	8-9	0.00	0.00	329.76	107.17	0.00	0.00	0.27	4.02
8	Santa Cruz	Andres Ibanez	8-10	0.00	0.00	415.51	135.04	0.00	0.00	0.20	3.02
8	Santa Cruz	Chiquitos	8-11	58.41	151.86	1,337.78	434.78	1.10	21.95	0.47	7.04
8	Santa Cruz	Cordillera	8-12	375.75	976.95	1,548.63	503.30	0.78	15.68	0.47	7.04
8	Santa Cruz	Ichilo	8-13	58.37	151.76	214.09	69.58	0.47	9.41	0.30	4.52
8	Santa Cruz	Nuflo de Chavez	8-14	98.91	257.17	777.91	252.82	1.25	25.08	0.64	9.55
8	Santa Cruz	Obispo Santistevan	8-15	21.65	56.30	266.98	86.77	0.16	3.14	0.10	1.51
9	Tarija	Aniceto Arce	9-1	96.22	250.17	192.15	62.45	0.78	15.68	0.37	5.53
9	Tarija	Aviles	9-2	31.22	81.17	48.71	15.83	0.16	3.14	0.07	1.01
9	Tarija	Mendez	9-3	0.00	0.00	110.83	36.02	0.00	0.00	0.10	1.51
9	Tarija	Burnet O'Connor	9-4	14.18	36.86	265.06	86.14	0.31	6.27	0.10	1.51
9	Tarija	Cercado	9-5	0.00	0.00	24.79	8.06	0.00	0.00	0.03	0.45
9	Tarija	Gran Chaco	9-6	132.35	344.11	1,066.07	346.47	0.63	12.54	0.30	4.52
Total				5,426	14,108	24,678	8,020	31	611	20	302
				23,042							

Tabla 2.11
Valores de exposición de infraestructura nacional
(Muestra ilustrativa de los datos, ver Anexo 3)

ID_Depto	Departamento	Provincia	ID	Generación energética				Distribución energética		Comunicaciones		Hidrocarburos	
				Hidroeléctricas		Plantas		Subestaciones	Redes	Lineas fijas	Lineas móviles	Derivados	Gas
				Presa	Casa de máquinas	Térmicas	Geotérmicas						
				(US\$ x 10 ⁶)	(US\$ x 10 ⁶)	(US\$ x 10 ⁶)	(US\$ x 10 ⁶)						
8	Santa Cruz	Vallegrande	8-5	0.85	0.45	0.75	0.00	0.11	0.11	0.00	0.01	0	0
8	Santa Cruz	Jose Miguel de Velasco	8-6	2.03	1.06	1.79	0.00	0.25	0.25	0.00	0.02	0	0
8	Santa Cruz	Ignacio Warnes	8-7	3.77	1.98	3.33	0.00	0.47	0.47	0.02	0.09	20	35
8	Santa Cruz	German Busch	8-8	2.16	1.14	1.91	0.00	0.27	0.27	0.02	0.09	0	325
8	Santa Cruz	Guarayos	8-9	0.61	0.32	0.54	0.00	0.07	0.07	0.00	0.00	0	0
8	Santa Cruz	Andres Ibanez	8-10	105.23	55.25	92.96	0.00	13.01	13.01	1.03	4.95	628	235
8	Santa Cruz	Chiquitos	8-11	2.63	1.38	2.32	0.00	0.32	0.32	0.01	0.05	0	423
8	Santa Cruz	Cordillera	8-12	3.73	1.96	3.29	0.00	0.46	0.46	0.02	0.09	1,293	2,498
8	Santa Cruz	Ichilo	8-13	3.30	1.73	2.92	0.00	0.41	0.41	0.01	0.06	449	169
8	Santa Cruz	Nuflo de Chavez	8-14	2.29	1.20	2.02	0.00	0.28	0.28	0.00	0.02	0	162
8	Santa Cruz	Obispo Santistevan	8-15	9.93	5.22	8.78	0.00	1.23	1.23	0.06	0.27	0	128
9	Tarija	Aniceto Arce	9-1	2.69	1.41	2.37	0.00	0.33	0.33	0.02	0.08	0	0
9	Tarija	Aviles	9-2	0.56	0.29	0.49	0.00	0.07	0.07	0.00	0.00	0	0
9	Tarija	Mendez	9-3	1.45	0.76	1.28	0.00	0.18	0.18	0.00	0.02	12	185
9	Tarija	Burnet O'Connor	9-4	0.31	0.16	0.28	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	200	180
9	Tarija	Cercado	9-5	12.34	6.48	10.90	0.00	1.52	1.52	0.11	0.52	44	103
9	Tarija	Gran Chaco	9-6	7.50	3.94	6.63	0.00	0.93	0.93	0.06	0.27	578	790
Total				499	262	441	0	62	62	4	18	8,230	9,315
				18,892									

2.6 RESUMEN GENERAL DE INDICADORES DE EXPOSICIÓN

La información recopilada para cada una de las secciones explicadas anteriormente, se organiza y clasifica en una hoja de cálculo (Anexo 3) en la cual se presentan cada una de las bases de datos entidades subnacionales, población, construcciones e infraestructura urbana y nacional. En esta misma hoja de cálculo se presenta un resumen de los índices generales resultantes del país y de los valores en exposición para cada uno de los activos

estimados. La Tabla 2.12 y la Tabla 2.13 presentan un resumen de los valores finales resultantes de índices y de exposición física, económica y humana.

Tabla 2.12
Resumen de indicadores del modelo de activos: Indicadores proxy

Población				
Urbana		5,929,684 Hab		
Rural		3,569,241 Hab		
Total		9,498,925 Hab		

	Unidad	Valor	Valor per capita	1/PIB per Capita
Área Construida				
Área construida Urbana	m ²	166,587 x10 ³	28.1	-
Densidad Construcción Urbana	m ² /m ² terreno urbano	0.22	-	-
Valoración Infraestructura				
Valor construcciones urbanas	US\$x10 ⁶	34,000	3,579	0.81
Valor construcciones rurales	US\$x10 ⁶	-	-	-
Infraestructura Urbana	US\$x10 ⁶	3,215	542	0.12
Infraestructura Nacional	US\$x10 ⁶	41,933	4,415	1.00
Total Infraestructura país	US\$x10⁶	79,148	8,332	1.89

Tabla 2.13
Resumen de Indicadores del modelo de activos: Valores expuestos

Sector	Unidad	Unidad per capita país	Unidad per capita sector	Valor	Valor per capita país
Construcciones Urbanas	[m²x10³]	[m² / Hab]		[US\$x10⁶]	[US\$ / Hab]
Residencial PB	24,977	2.6	4.2 [Hab Urb]	1,907	201
Residencial PM	39,686	4.2	6.7 [Hab Urb]	7,772	818
Residencial PA	16,251	1.7	2.7 [Hab Urb]	5,058	532
Comercial	38,346	4.0	20 m ² /FL	7,711	812
Industrial	20,466	2.2	50 m ² /FL	6,364	670
Salud Privada	42	0.0	4.4 m ² /1000Hab	14	2
Educación Privada	2,322	0.2	0.8 m ² /Est	501	53
Salud Pública	72	0.0	7.6 m ² /1000Hab	18	2
Educación Pública	22,518	2.4	7.9 m ² /Est	4,300	453
Gobierno	1,907	0.2	5 m ² /EP	354	37
Total	166,587	17.5		34,000	3,579

Sector	Ocupación Día	Ocupación Noche
Construcciones Urbanas	[Hab]	[Hab]
Residencial PB	1,106,015	2,353,224
Residencial PM	2,146,359	4,566,721
Residencial PA	724,577	1,541,654
Comercial	1,931,865	643,955
Industrial	456,241	253,467
Salud Privada	7,947	7,947
Educación Privada	319,979	0
Salud Pública	12,909	12,909
Educación Pública	2,723,847	0
Gobierno	406,700	0
Total	9,836,440	9,379,878

Tabla 2.13
Resumen de Indicadores del modelo de activos: Valores expuestos (continuación)

Sector	Unidad	Unidad per capita Urbano	Valor	Valor per capita Urbano	Valor por Unidad
Infraestructura Urbana			[US\$ x 10 ⁶]	[US\$ / Hab]	
SubEst electricas	-	-	422	71	-
SubEst Comunicaciones	-	-	142	24	-
Presas abastecimiento	-	-	109	18	-
Plantas y tanques	-	-	139	23	-
Red Acueducto	-	-	202	34	-
Red Alcantarillado	-	-	148	25	-
Red Gas	-	-	106	18	-
Aeropuertos (Terminal)	720,000 m ²	121.4	1,072	181	1,489 US / m ²
Aeropuertos (Pistas)	73 km	12.4	458	77	6 US x 10 ⁶ / km
Puertos (Bodegas)	22,423 m ²	3.8	18	3	800 US / m ²
Puertos (Muelle)	210 m ²	0.0	0.4	0.1	2,000 US / m ²
Puentes Urbanos	199 und	33.6	398	67	2 US x 10 ⁶ / und
Total			3,215	542	

Sector	Unidad	Valor	Valor per capita Nacional	Valor por Unidad
Infraestructura Nacional	[km]	[US\$ x 10 ⁶]	[US\$ / Hab]	[US\$ x 10 ⁶ / km]
Red vial principal (Vias)	5,426	14,108	1,485	3
Red vial secundaria (Vias)	24,678	8,020	844	0
Red vial principal (Puentes)	31	611	64	20
Red vial secundaria (Puentes)	20	302	32	15
Hidroelectricas (Presas)	-	499	53	-
Hidroelectricas (Casas de Maquinas)	-	262	28	-
Plantas Térmicas	-	441	46	-
Plantas Geotérmicas	-	0	0	-
Distribución energética (Subestaciones)	-	62	6	-
Distribución energética (Redes)	-	62	6	-
Comunicaciones (Líneas Fijas)	-	4	0	-
Comunicaciones (Líneas Móviles)	-	18	2	-
Hidrocarburos Derivados	-	8,230	866	-
Hidrocarburos (Gas)	-	9,315	981	-
Total	-	41,933	4,415	-

2.7 PRESENTACIÓN GRÁFICA DEL MODELO DE ACTIVOS EXPUESTOS

Para comprender la distribución relativa de valores expuestos tanto geográficamente como por sectores económicos, del desarrollo o de uso se presentan a continuación una serie de gráficas representativas de los parámetros más importantes del modelo.

2.7.1 Edificaciones urbanas según área construida y valor por departamentos y sectores

La Figura 2.3 a la Figura 2.5 presentan la extensión en km², la población y la densidad poblacional (urbana, rural y total) para cada uno de los 9 departamentos analizados. La Figura 2.3 muestra que el departamento con mayor extensión territorial es Santa Cruz, y también aunque no en la misma proporción el departamento de Beni tiene una extensión importante, la Figura 2.4 muestra que los departamentos con mayor población total y urbana son Cochabamba, La Paz y Santa Cruz y los dos primeros también tienen la mayor población rural, y por último la Figura 2.5 muestra que los departamentos con mayor densidad poblacional total y urbana son Cochabamba, La Paz, Chuquisaca y Tarija, y los que tienen mayor densidad poblacional rural son Chiquisaca, Cochabamba y La Paz.

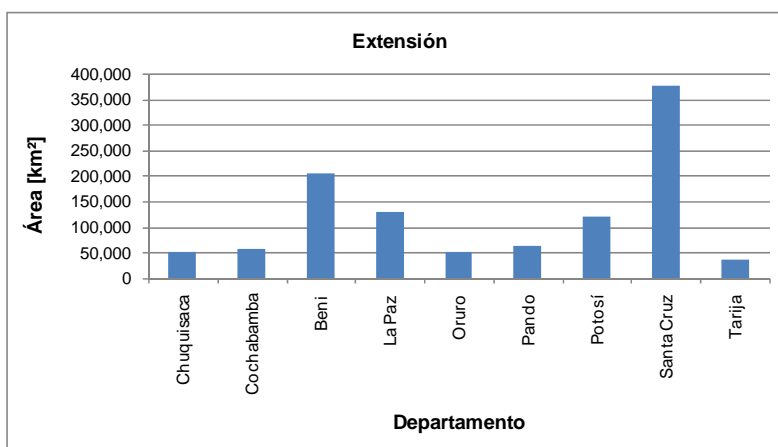


Figura 2.3
 Extensión territorial

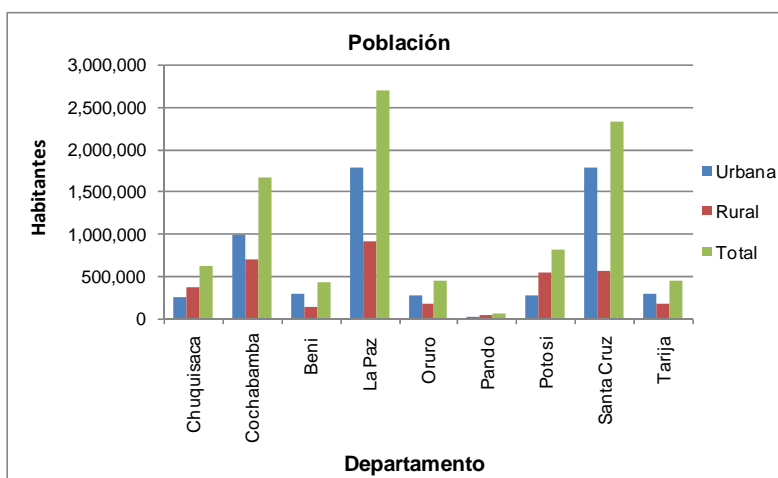


Figura 2.4
 Población por departamento

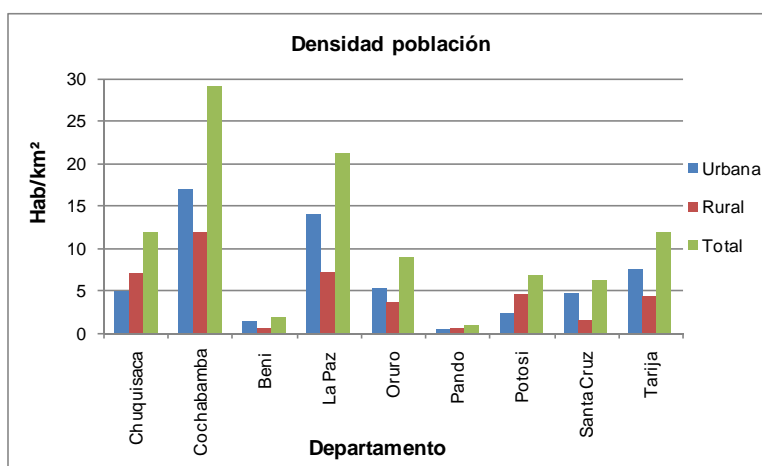


Figura 2.5
 Densidad de población por departamento

La Figura 2.6 y la Figura 2.7 presentan los valores estimados de área de construcción urbana en m² y valor expuesto correspondiente para cada uno de los departamentos. Estas figuras muestran que los departamentos con mayor área construida son Cochabamba, La Paz y Santa Cruz, y por tal motivo son las que mayor valor expuesto en área construida tienen.

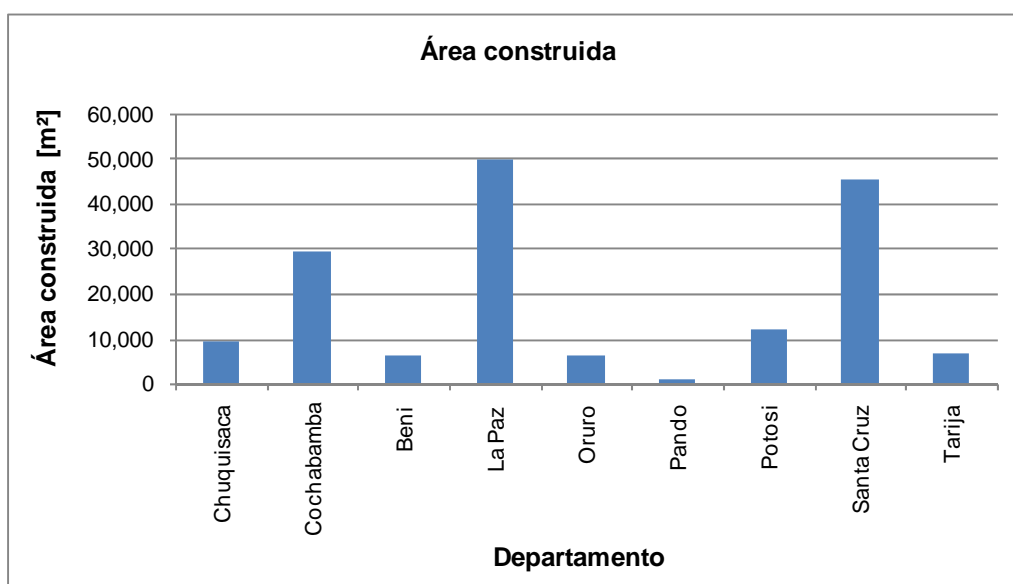


Figura 2.6
Área construida por departamento

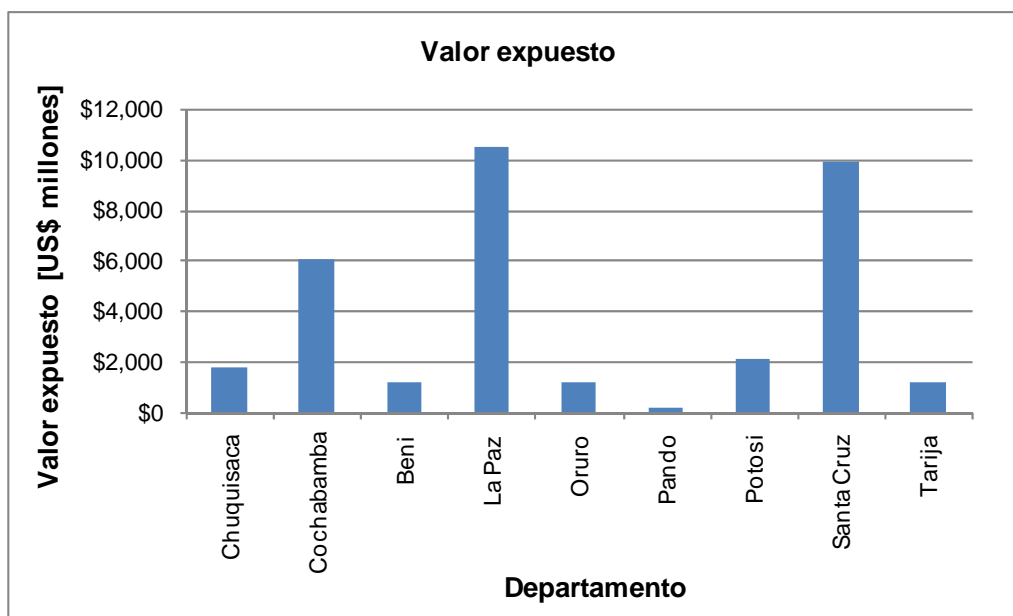


Figura 2.7
Valores expuestos de edificaciones regulares por departamento

Por otro lado la Figura 2.8 y la Figura 2.9 presentan la información correspondiente a área construida aproximada y valores de exposición para cada uno de los sectores de uso. Estas figuras muestra que los sectores con mayor área construida son residenciales PM y comerciales, por tal motivo son los que tienen mayor valor expuesto, adicionalmente las figuras muestran que a pesar de que los residenciales PB tienen mayor área construida que los residenciales PA, no son lo suficientemente mayores para que su valor sea el más alto que los residenciales PA

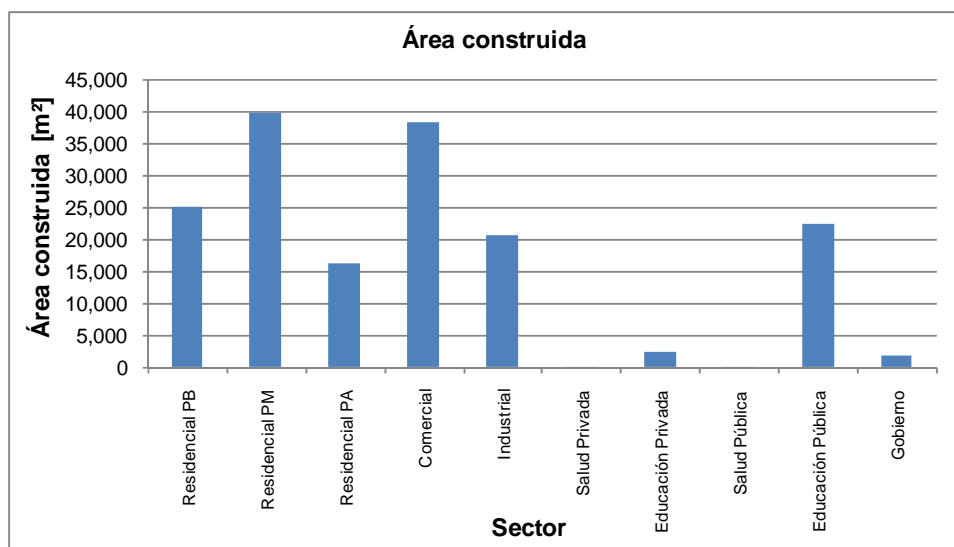


Figura 2.8
Área construida por sector de uso

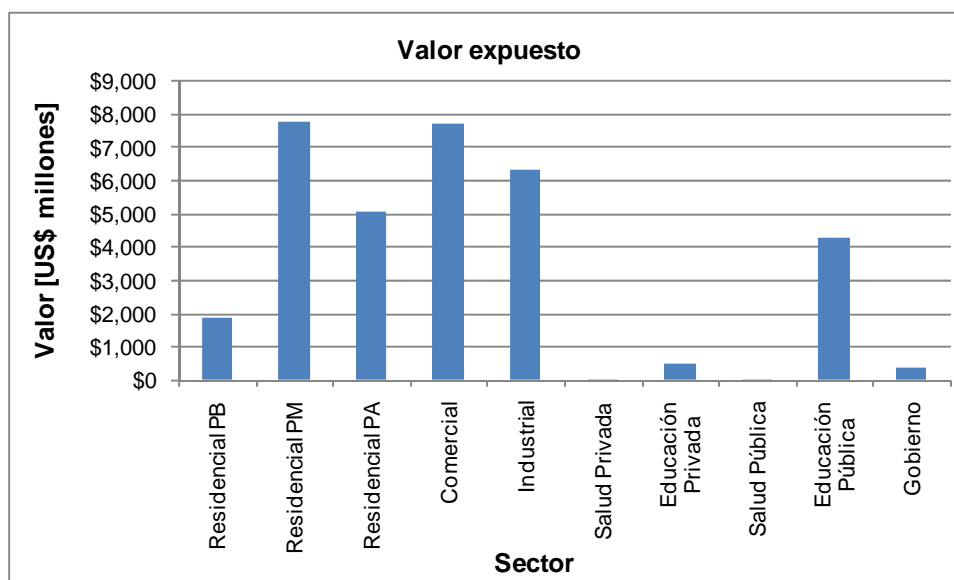


Figura 2.9
Valor expuesto por sector de uso

La información anterior se combina en gráficas de tres ejes (Figura 2.10 y Figura 2.11) en las cuales se presentan las áreas de construcción y los valores expuestos correspondientes estimados y discriminados de acuerdo con cada uno de los departamentos y con cada uno de los sectores de uso. La Figura 2.10 reúne lo que anteriormente concluido, y es que los departamentos con mayor área construida son Cochabamba, La Paz y Santa Cruz, concentrados en los sectores de residencial PM y comercial y la Figura 2.11 muestra que los mismos departamentos son los que mayor valor expuesto en área construida tienen, concentrados en los mismos sectores.

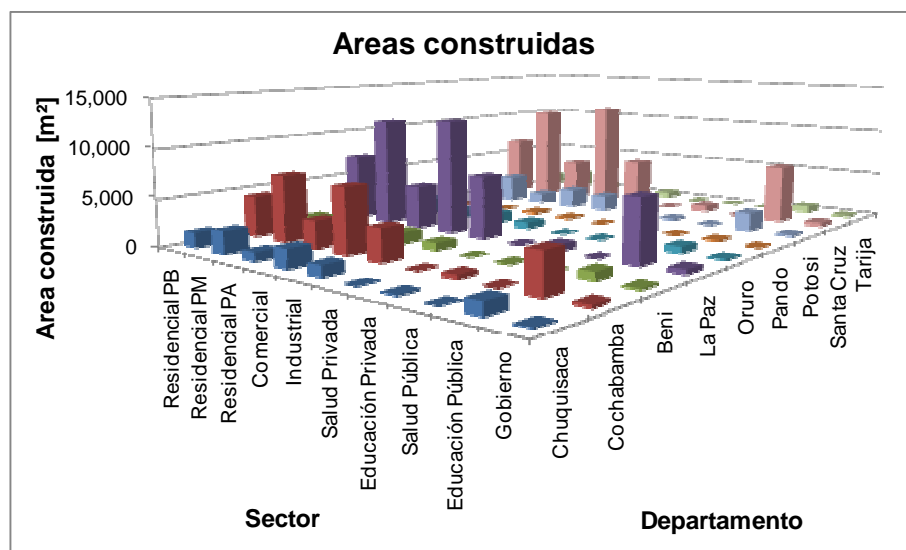


Figura 2.10
 Área construida por departamento y sector de uso

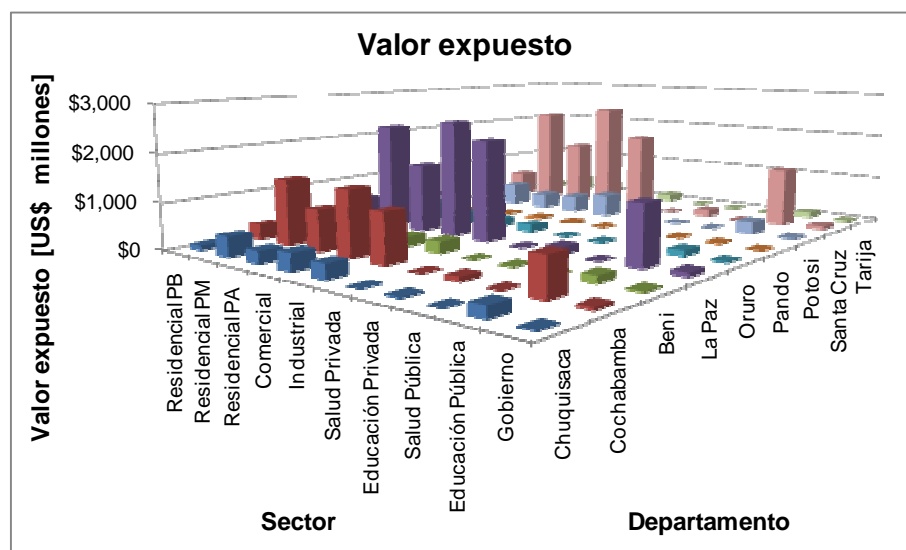


Figura 2.11
 Valor expuesto por departamento y sector de uso

2.7.2 Infraestructura urbana según valores por departamentos y sectores

La Figura 2.12 y la Figura 2.13 presentan los valores expuestos estimados de la infraestructura urbana que incluye puentes, aeropuertos, puertos, sistema de distribución de energía, telecomunicaciones, sistemas de potabilización, distribución y tratamiento de aguas y sistema de distribución de gas. La información se presenta discriminada para cada uno de los departamentos y por sectores de uso. La Figura 2.12 muestra que los departamentos con mayor valor expuesto en infraestructura urbana son Santa Cruz y La Paz, y la Figura 2.13 muestra que los sectores con mayor valor expuesto en infraestructura urbana son subestaciones eléctricas y terminales de aeropuertos.

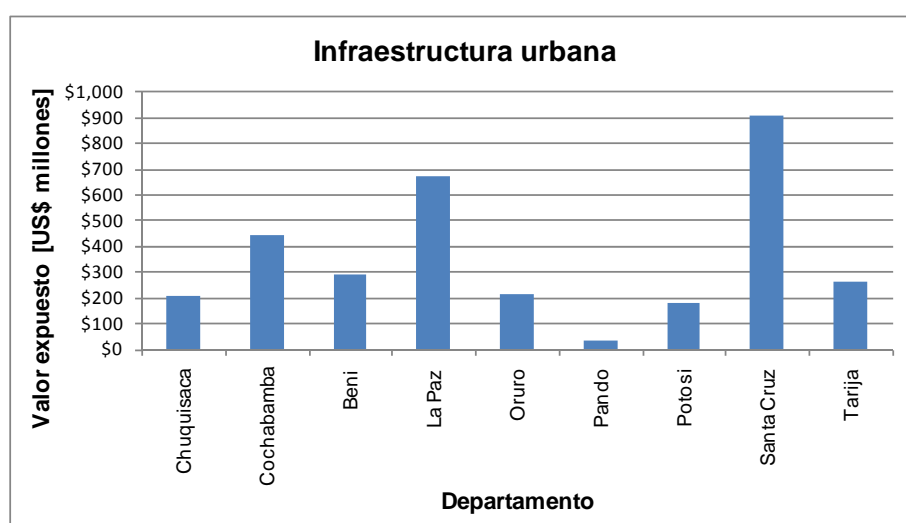


Figura 2.12
 Valor expuesto en infraestructura urbana por departamento

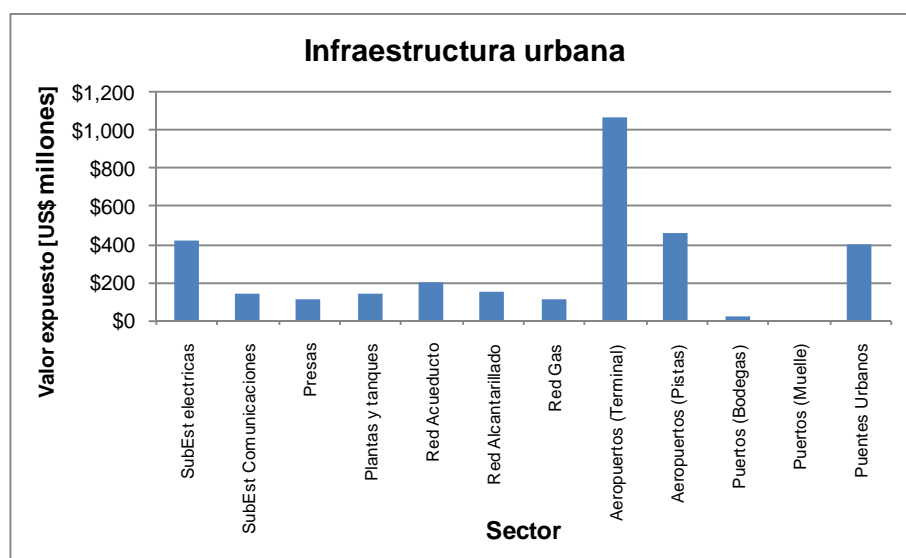


Figura 2.13
 Valor expuesto en infraestructura urbana por sector

La Figura 2.14 muestra la información presentada anteriormente en una gráfica de tres dimensiones. La cual reúne la información antes expuesta, es decir, que los departamentos con mayor valor expuesto en infraestructura urbana son Cochabamba y Santa Cruz y que este está concentrado en los sectores de subestaciones eléctricas y terminales de aeropuertos, adicionalmente nos muestra que el sector de puentes urbanos también tiene una incidencia significativa y se concentra en los mismos departamentos adicionando el departamento de La Paz.

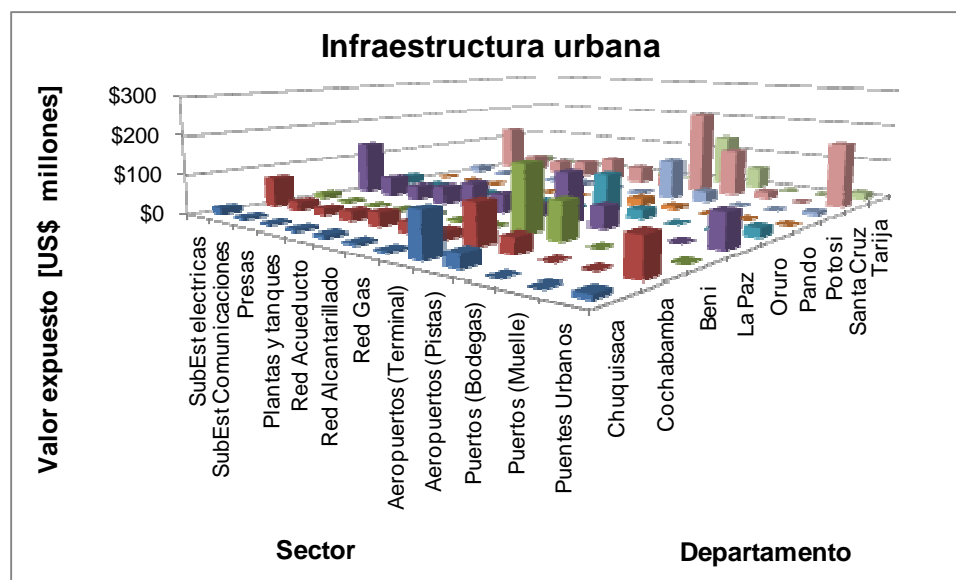


Figura 2.14
Valor expuesto en infraestructura urbana por departamento y sector

2.7.3 Infraestructura nacional según valores por departamentos y sectores

La Figura 2.15 y Figura 2.16 presentan los valores expuestos estimados de la infraestructura nacional que incluye la red vial principal y secundaria incluyendo puentes, sistemas de generación de energía, presas, plantas térmicas, subestaciones de energía, subestaciones de telecomunicaciones, subestaciones y redes de distribución de gas natural y sistema de hidrocarburos. La información se presenta discriminada para cada uno de los departamentos y por sectores de uso. La Figura 2.15 muestra que el departamento con mayor valor expuesto en infraestructura nacional es Santa Cruz, y la Figura 2.16 muestra que los sectores con mayor valor expuesto en infraestructura nacional son red vial principal (vías principales), red vial secundaria (vías secundarias) e hidrocarburos tanto derivados como gas.

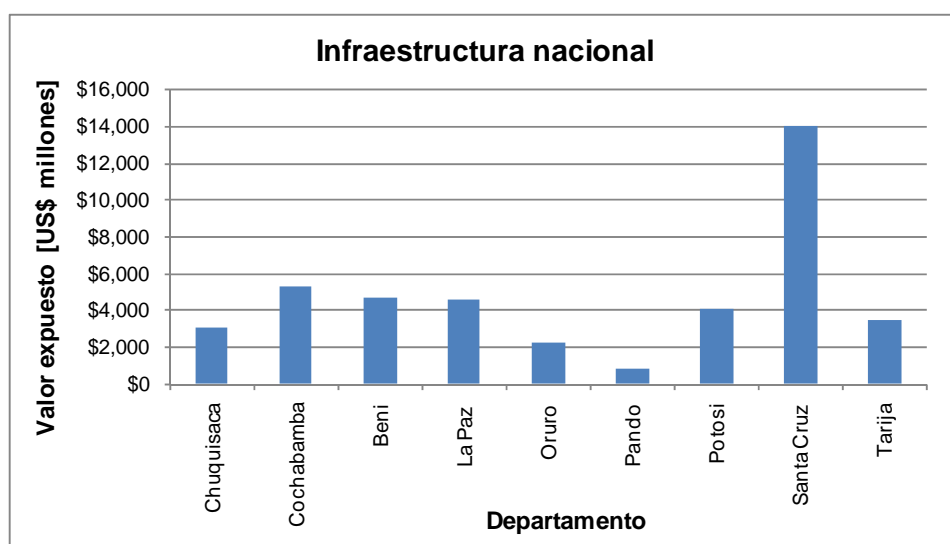


Figura 2.15
Valor expuesto en infraestructura nacional por departamento

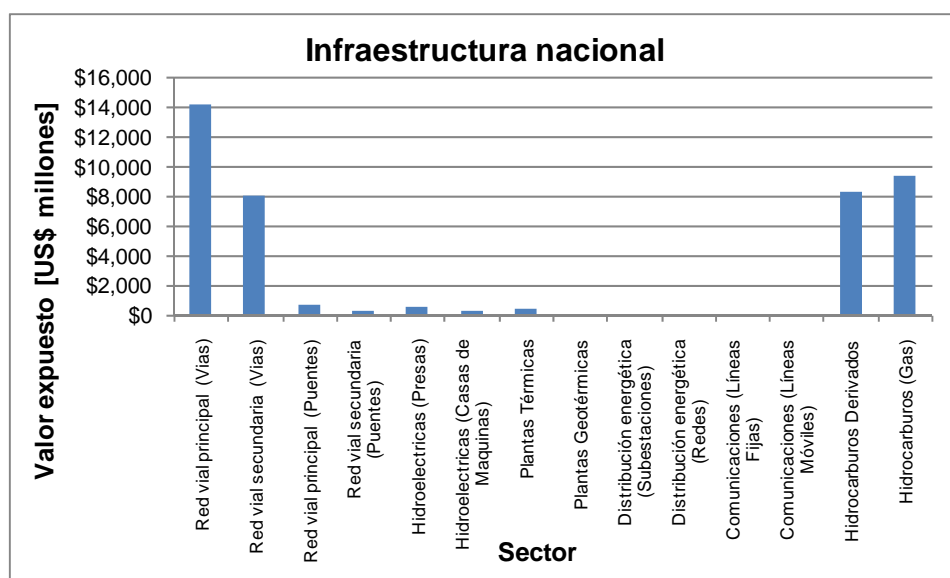


Figura 2.16
Valor expuesto en infraestructura nacional por sector

La Figura 2.17 resume la información anterior en una gráfica de tres ejes. La cual reúne lo anteriormente expuesto, es decir, que Santa Cruz es el departamento que tiene mayor valor expuesto en infraestructura nacional y este está concentrado en los sectores de red vial primaria y secundaria (vías primarias y secundarias) e hidrocarburos (derivados y gas), adicionalmente muestra que los sectores de hidrocarburos (derivados y gas) también tienen su valor expuesto en infraestructura nacional concentrado en los departamentos de Tarija, Cochabamba y Chuquisaca y que el valor expuesto en infraestructura nacional de los sectores de red vial principal y secundaria (vías primarias y secundarias), se concentra en todos los departamentos.

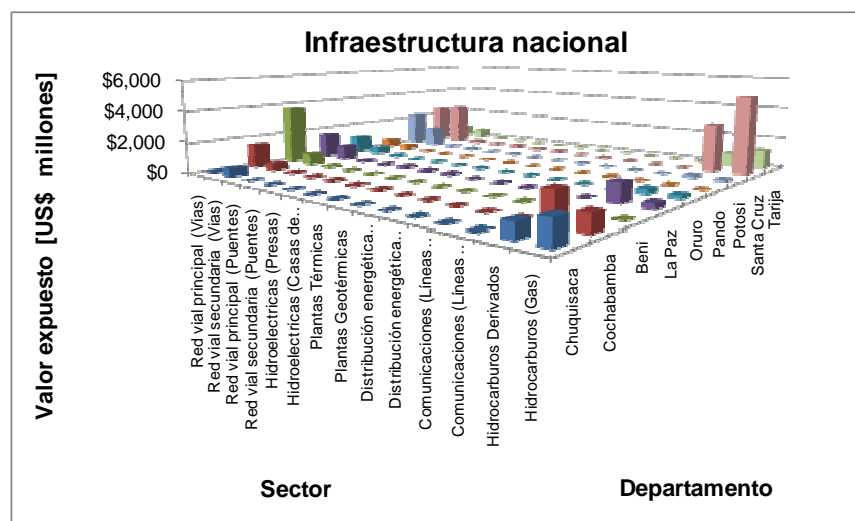


Figura 2.17

Valor expuesto en infraestructura nacional por departamento y sector

2.7.4 Resumen de valores expuestos totales por departamentos y sectores

La Figura 2.18 y la Figura 2.19 presentan el resumen de los valores totales expuestos que resultan de sumar los valores de las edificaciones urbanas, la infraestructura urbana y la infraestructura nacional discriminados para cada uno de los departamentos y para cada uno de los sectores de uso. En las categorías de sectores de uso se incluye en forma individual los sectores asociados a las edificaciones urbanas, la infraestructura urbana y la infraestructura nacional. La Figura 2.18 muestra que los departamentos con mayor valor total expuesto nacional son Santa Cruz, La Paz y Cochabamba, y la Figura 2.19 muestra que los sectores con mayor valor total expuesto nacional son construcciones privadas e infraestructura nacional.



Figura 2.18

Valor total expuesto en infraestructura nacional por departamento



Figura 2.19

Valor total expuesto en infraestructura nacional por sectores

La Figura 2.20 muestra la información presentada anteriormente en una gráfica de tres dimensiones. La cual muestra que los sectores que mayor valor total expuesto nacional tienen son construcciones privadas, que se concentran en los departamentos de Cochabamba, La Paz y Santa Cruz, e infraestructura nacional, que se concentra en el departamento de Santa Cruz.

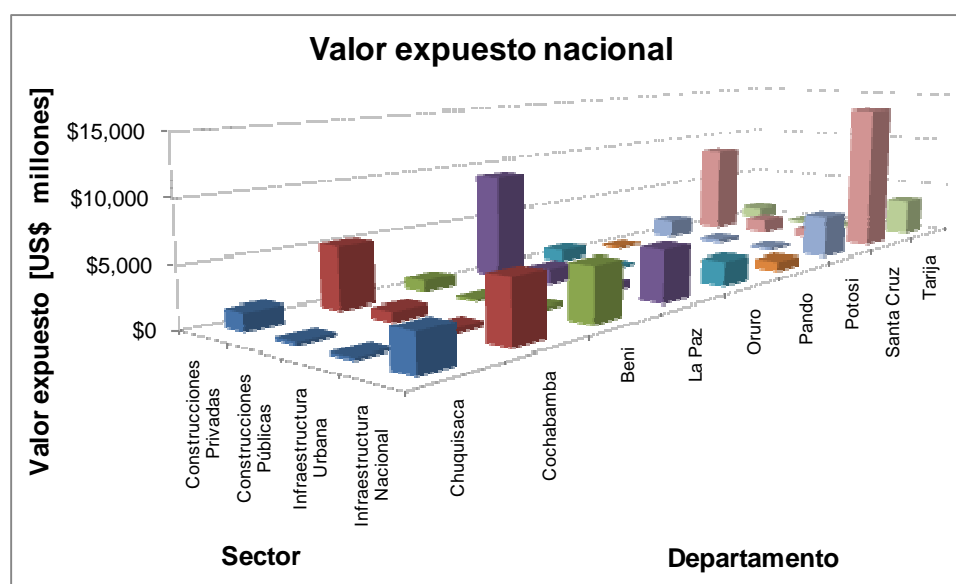


Figura 2.20

Valor total expuesto en infraestructura nacional por departamentos y sectores

La Figura 2.21 muestra los valores expuestos nacionales por los sectores de construcciones urbanas y rurales e infraestructura urbana y nacional, adicionalmente muestra el valor total expuesto del país, y claramente se puede observar que las construcciones urbanas y la infraestructura nacional son las que más valor tienen sobre el país

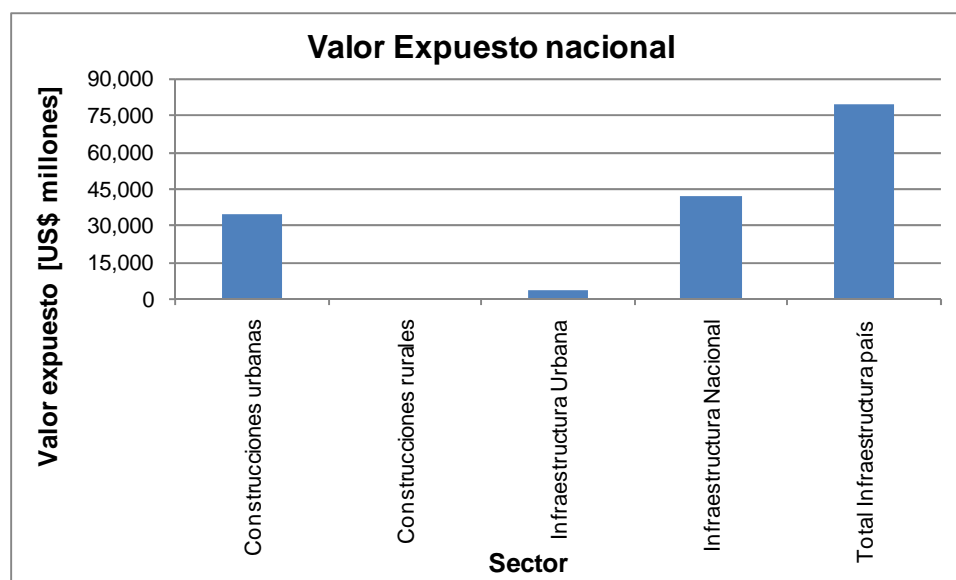


Figura 2.21

valor expuesto nacional por sector

2.7.5 Información en mapas descriptivos

La Figura 2.22 a la Figura 2.29 presentan mapas de información por provincias y departamentos, para cada una de las siguientes variables: población, distribución de área construida y distribución del valor de exposición.

- Según la Figura 2.22, la mayoría de la población se ubica en las provincias Andrés Babiñez en el departamento de Santa Cruz y Murillo en el departamento de La Paz.
- Como se observa en la Figura 2.23 los departamentos que acogen la mayor cantidad de población en relación con el área son La Paz, Santa Cruz y Cochabamba. De acuerdo con lo anterior, estos departamentos presentan las mayores áreas construidas, como se aprecia en la Figura 2.24.
- De acuerdo con la Figura 2.25, los valores expuestos en construcciones regulares son mayores en los departamentos de La Paz, Santa Cruz y Cochabamba, en donde se ubican los principales centros urbanos del país.
- Los departamentos de Beni, Santa Cruz, Cochabamba y Tarija cuentan con los aeropuertos y obras de infraestructura vial urbana predominantes en el país, por lo que su valor expuesto en infraestructura urbana es mayor con relación a los demás departamentos, como se observa en la Figura 2.26.
- Como se observa en la Figura 2.27, los departamentos de Beni, Cochabamba, la Paz y Santa Cruz presentan los mayores valores expuestos en infraestructura nacional, teniendo en cuenta que en éstos se ubican los sistemas de hidrocarburos y la infraestructura vial más importantes en el país.
- Teniendo en cuenta las características de la distribución del valor expuesto en las anteriores figuras, la Figura 2.28 muestra que el valor expuesto se concentra principalmente en los departamentos de Beni, Cochabamba, Santa Cruz y La Paz.
- Como se observa en la Figura 2.29. los valores expuestos por sector se distribuyen en su mayoría en infraestructura nacional, seguido por el sector de construcciones privadas.

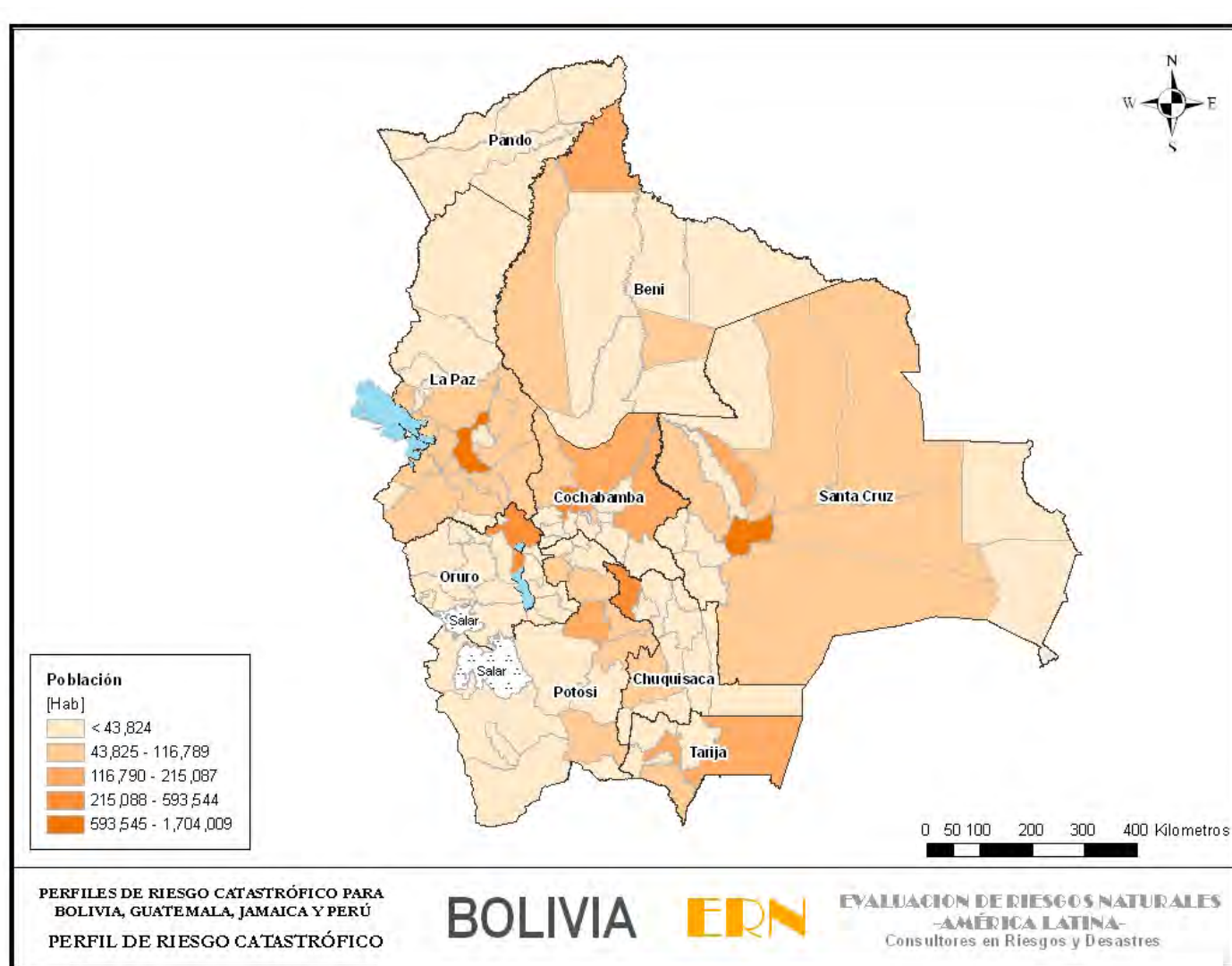


Figura 2.22
Distribución de población por provincia

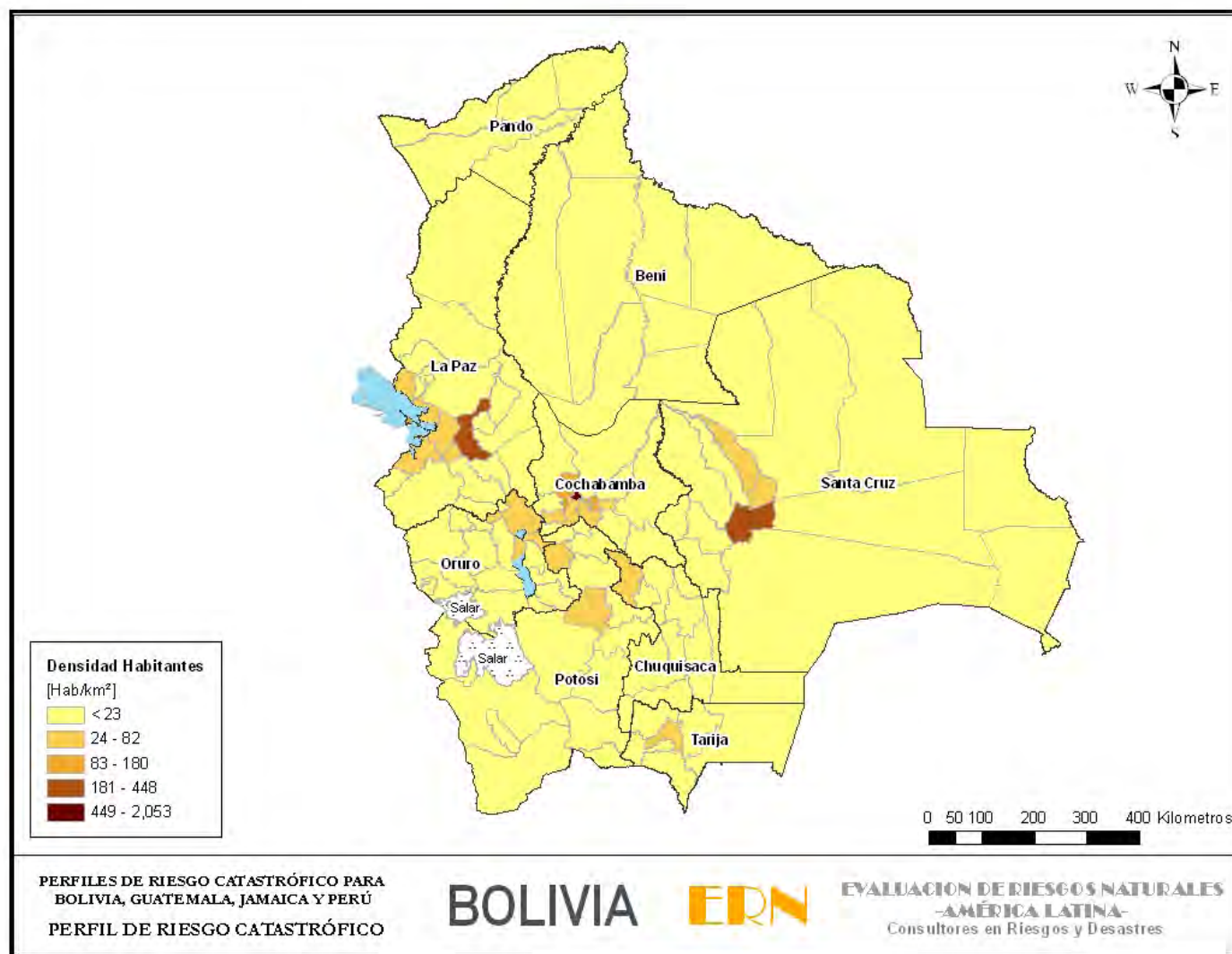


Figura 2.23
Densidad poblacional por provincia

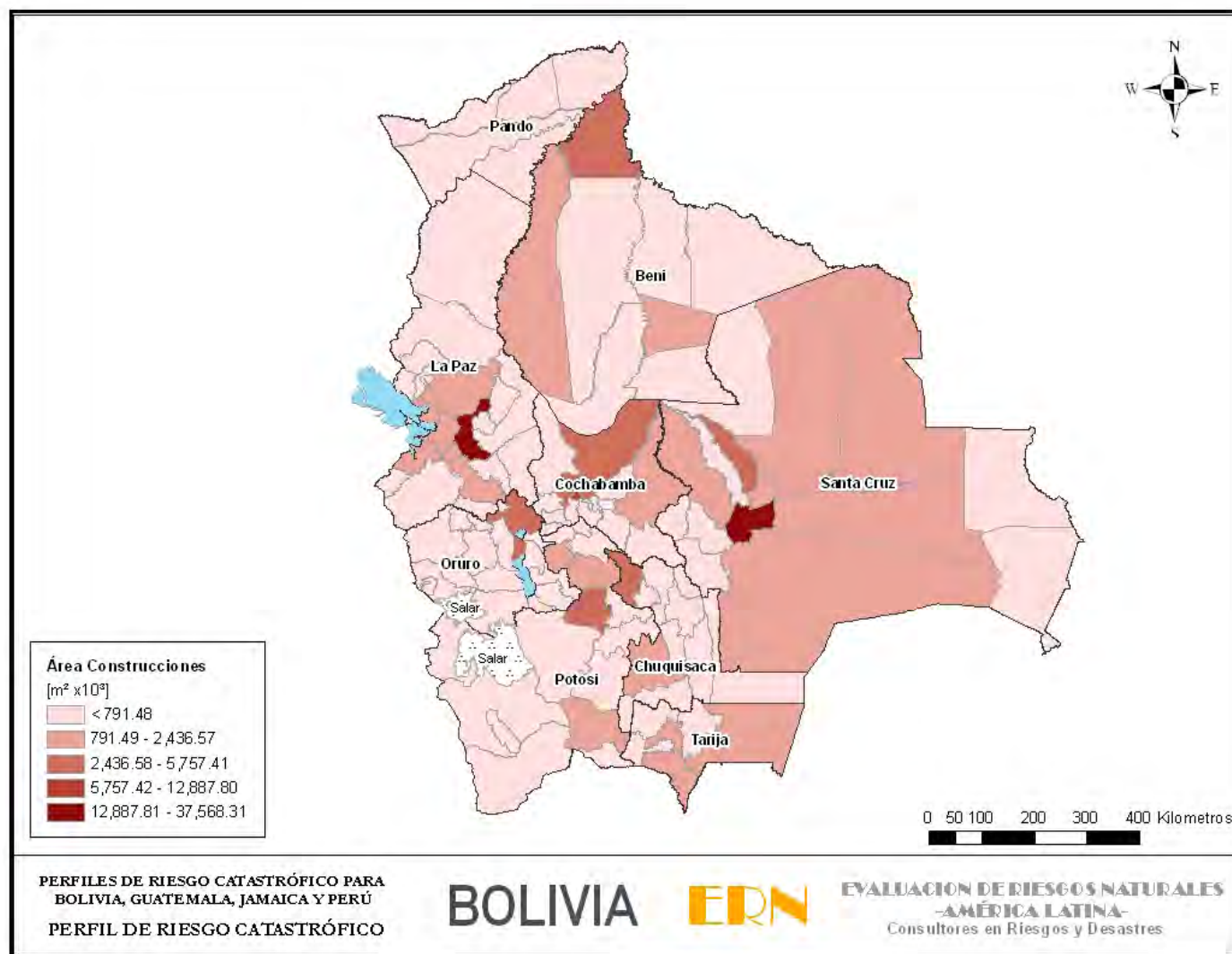


Figura 2.24
Distribución de área construida por provincia

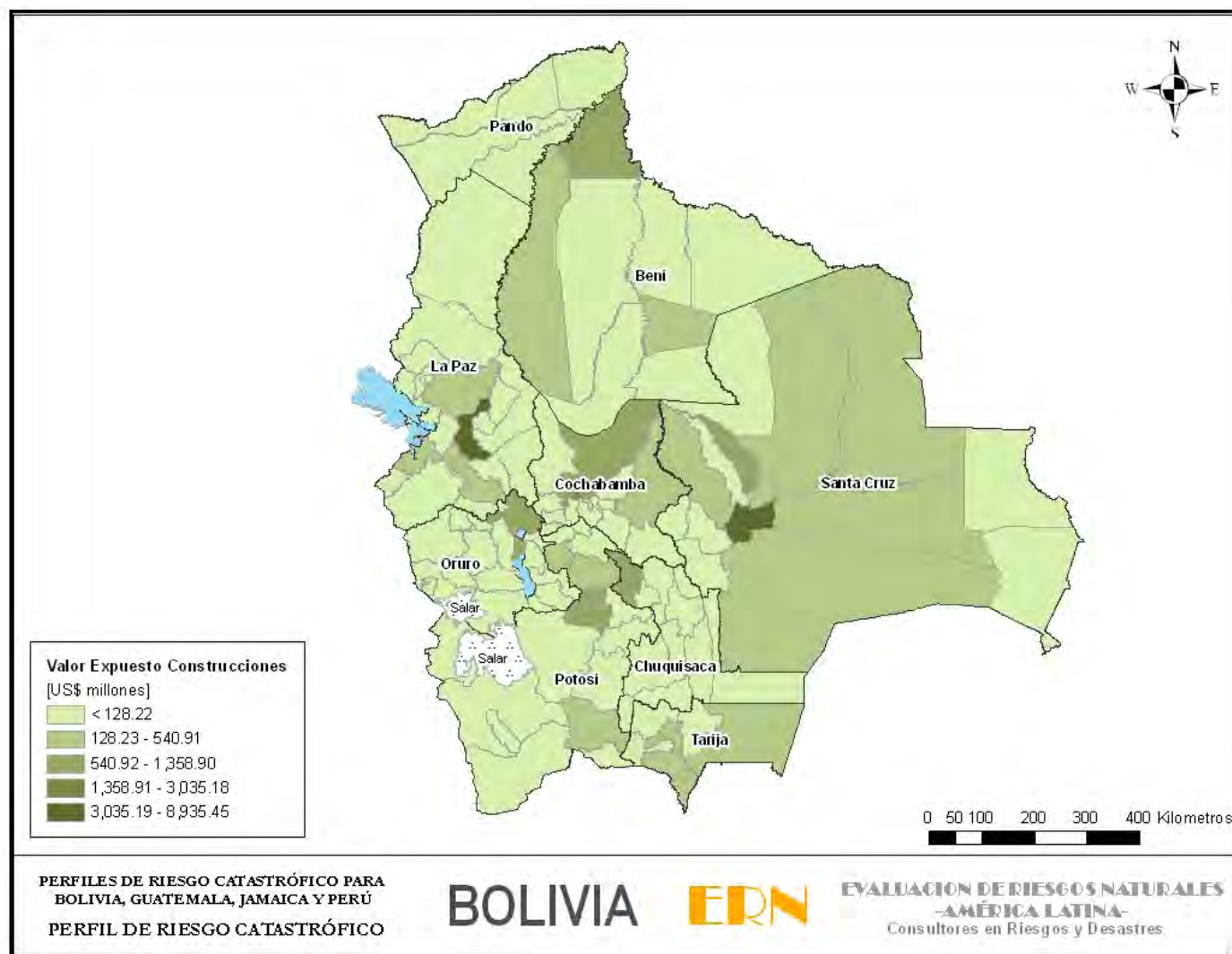


Figura 2.25
Distribución de valores expuestos en construcciones regulares por provincia

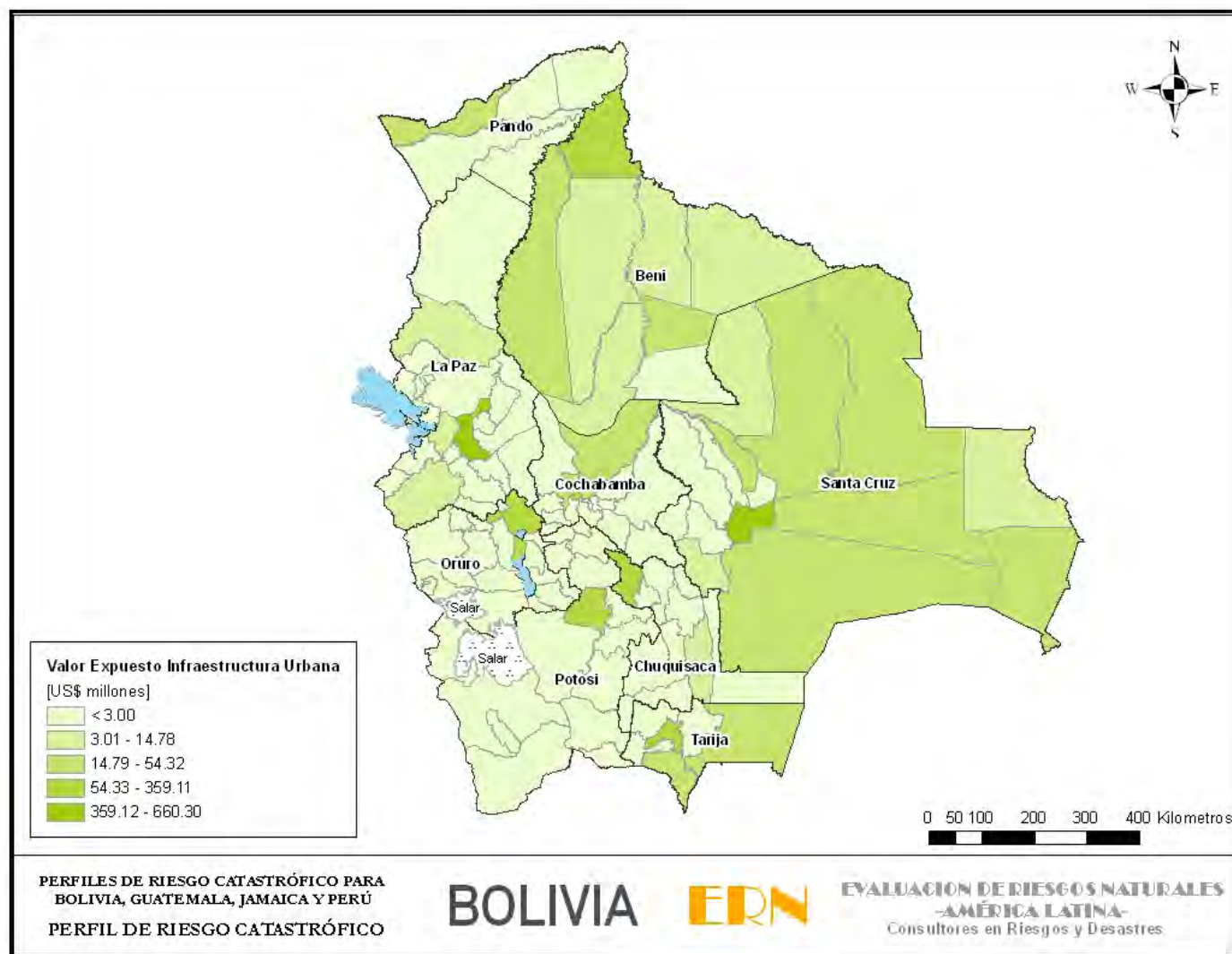


Figura 2.26
Distribución de valores expuestos en infraestructura urbana por provincia

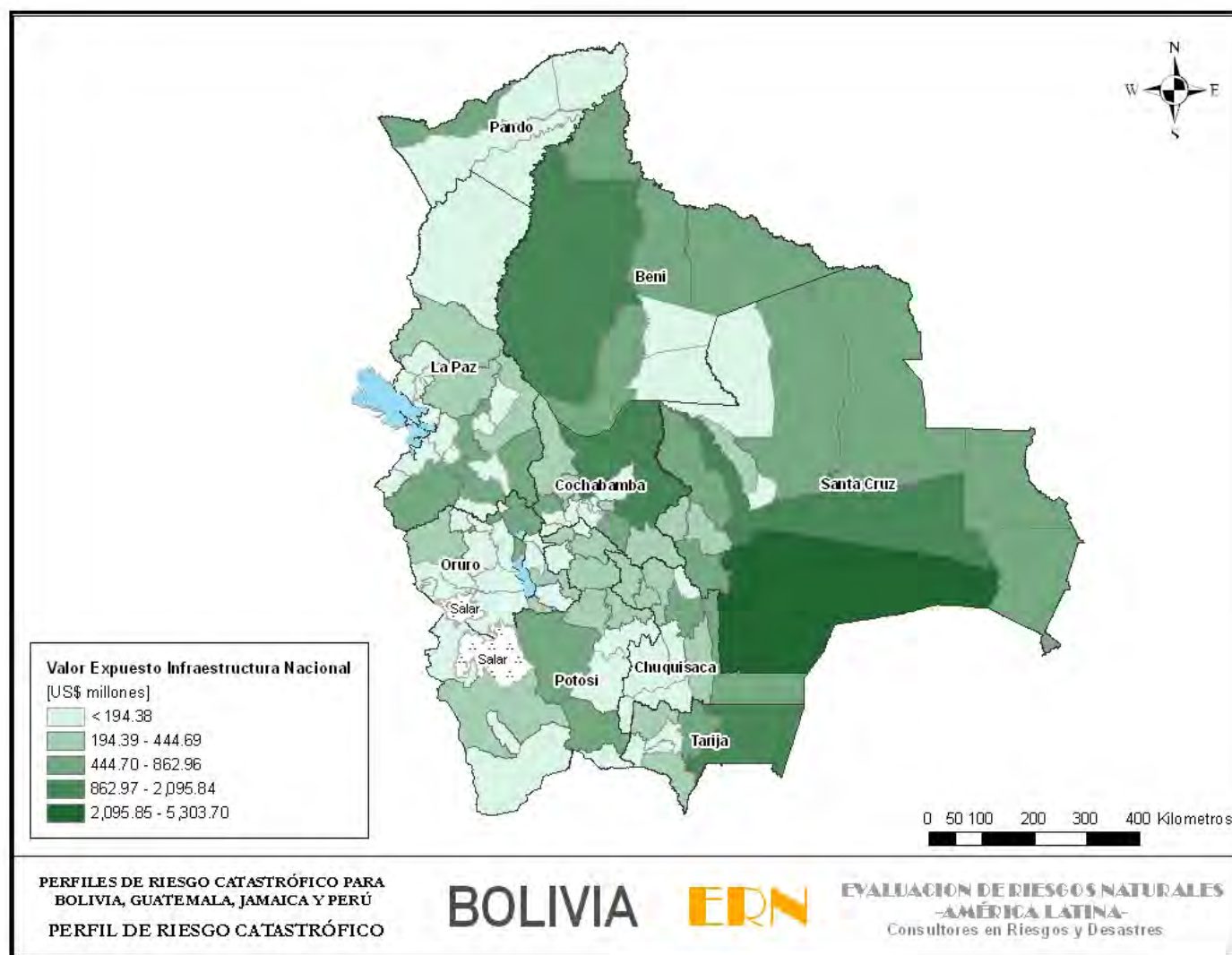


Figura 2.27
Distribución de valores expuestos en infraestructura nacional por provincia

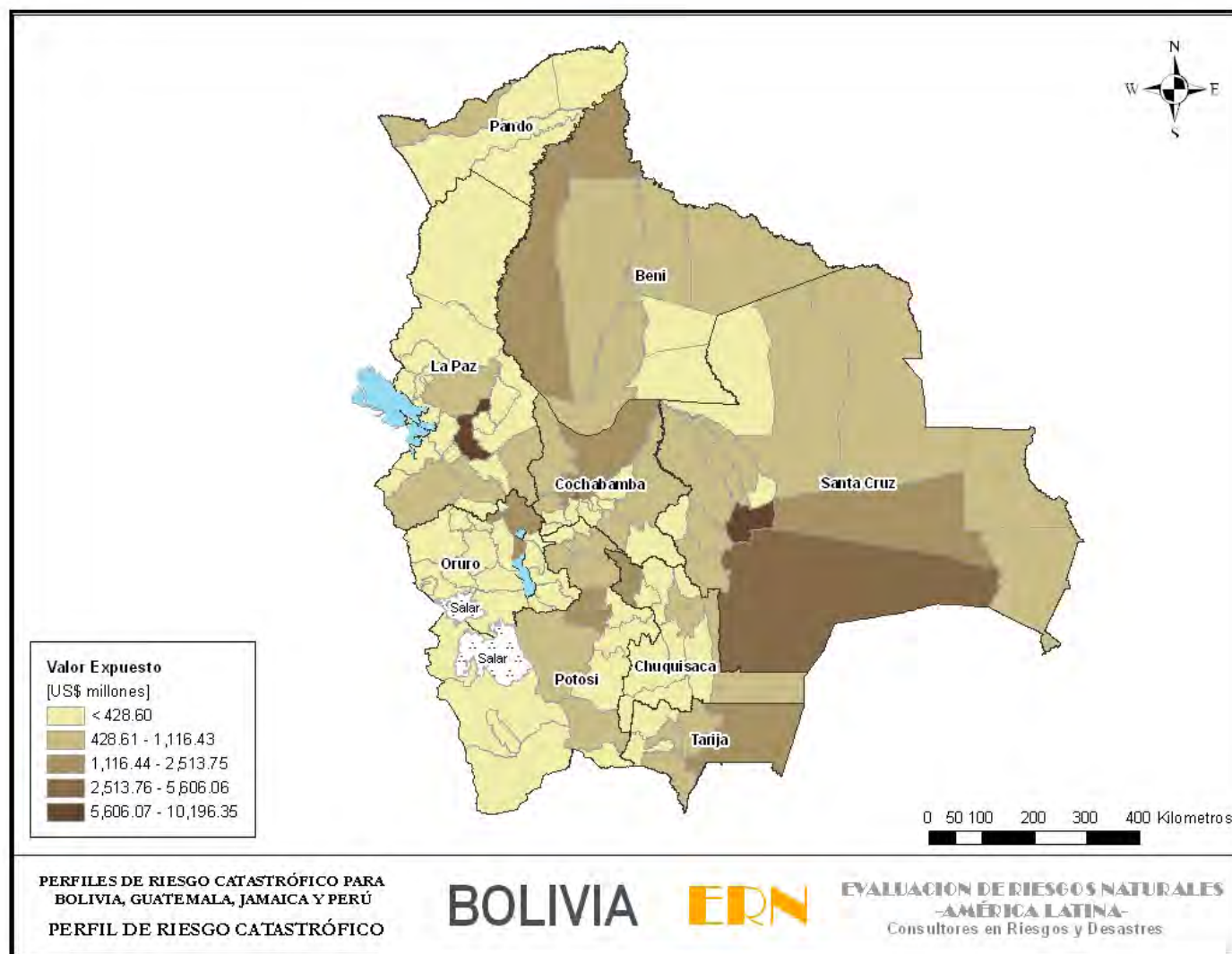


Figura 2.28
Distribución de valor expuesto total por provincia

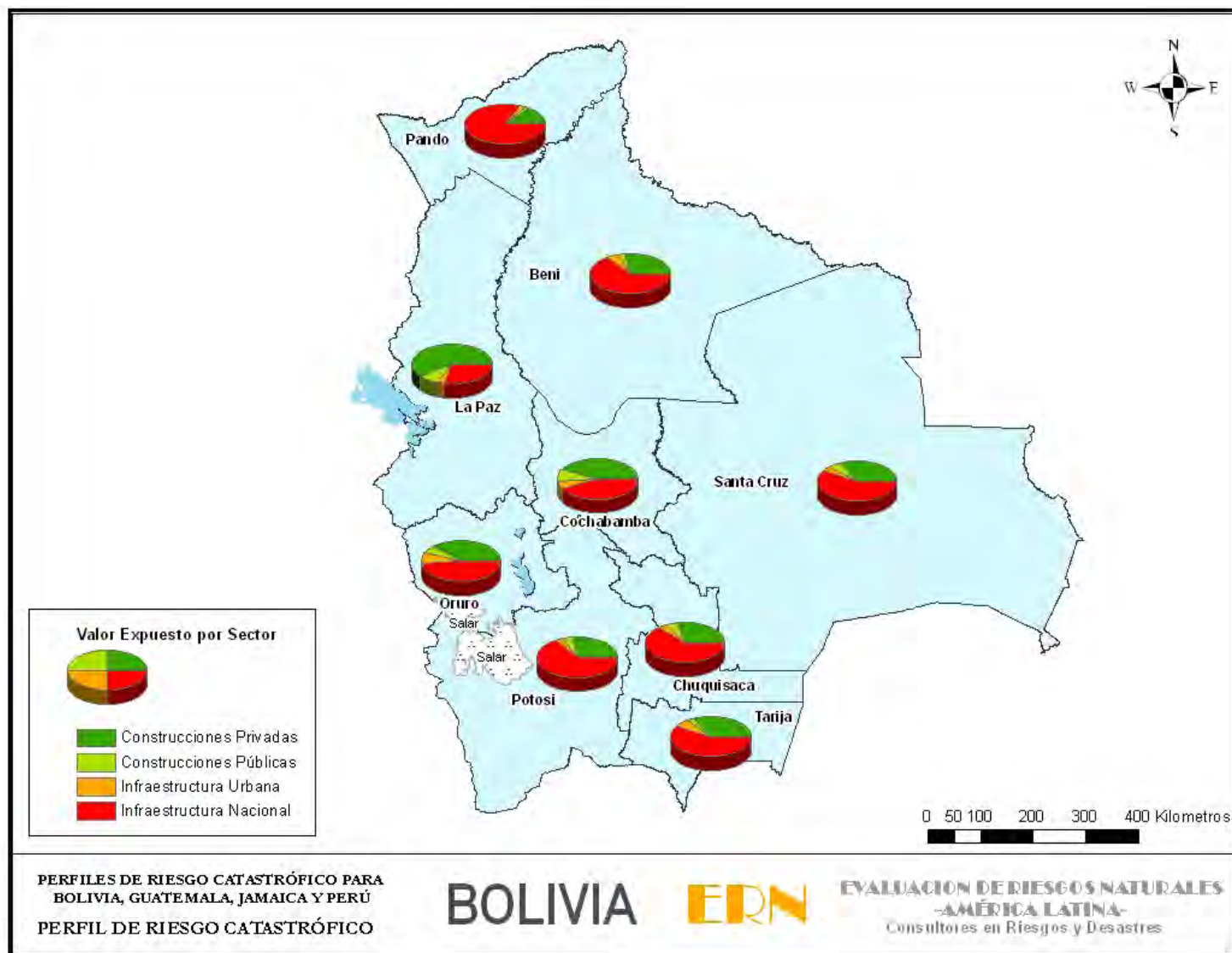


Figura 2.29
Distribución relativa de valores expuestos según sectores por departamento

2.8 PRINCIPALES FUENTES DE INFORMACIÓN

- ◇ Instituto Nacional de Estadísticas de Bolivia (<http://www.ine.gov.bo>), Censo del año 2001. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ Comisión Económica para América Latina y el Caribe, información general del país. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ <http://www.presidencia.gov.co/sne/2005/mayo/14/05142005.htm>, valores de km de vía. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ <http://www.invias.gov.co/invias/hermesoft/portallIG>, valores de km de vía. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ <http://www.bolivia.com/Noticias/AutoNoticias/DetalleNoticia32511.asp>, valores de km de vía. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ http://www.el-exportador.com/012002/mercados/n49_articulo.pdf, valores de km de vía. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ <http://www.centralamericadata.com>, valores de km de vía. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ <http://www.inapa.gob.do/a,2707,html>, valores de km de vía. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ <http://www.cig.gov.do/noticias/octubre-2006/05-10-06/gov-invi.html>, valores de km de vía. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsade/cd/videos/Orosi%20Tecnico.pdf>, valores de km de vía. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ <http://www.aya.go.cr/content/noticias/noticia.php?id=400>, valores de km de vía. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ <http://www.puertoaguirre.com/>, información general del puerto. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ <http://www.aircraftcharterworld.com/airports/southamerica/bolivia.htm#explanations>, información general de aeropuertos. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Aeropuertos_en_Bolivia, información de aeropuertos. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ <http://www.worldaerodata.com/countries/Bolivia.php>, información de aeropuertos. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ <http://www.the-airport-guide.com/search.php?by=country&search=Bolivia>, información de aeropuertos. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009

- ◇ <http://www.rangeland.tamu.edu/bolivia/inicio.htm> (Datos de Bolivia) Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ <http://biogeo.berkeley.edu/bgm/gdata.php> Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ http://www.ern-la.com/aplicaciones_capra/aplicaciones_capra.htm, levantamiento de polígonos para puertos. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009
- ◇ <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/BL.html>, información general del país. Fecha de consulta: Nov2008 – Mar2009

3 RIESGO CATASTRÓFICO POR TERREMOTO

3.1 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA

3.1.1 Aspectos generales

La forma clásica de representar la amenaza sísmica es mediante tasas de excedencia de intensidades determinadas. También puede representarse mediante mapas de aceleraciones, velocidades y desplazamientos del terreno para diferentes períodos de retorno o para determinados escenarios sísmicos específicos. Conocida la demanda sísmica sobre cada uno de los elementos que conforman el inventario de activos del país, es posible estimar la respuesta de los mismos frente a la acción sísmica potencial y evaluar sus efectos, daños o pérdidas económicas probables.

Se desarrolló un modelo de amenaza sísmica nacional, basado en la teoría sismológica clásica, que permite estimar la probabilidad de excedencia de intensidades relevantes en el comportamiento de estructuras, para diferentes periodos de exposición.

La amenaza sísmica fue calculada usando el Módulo de Amenazas del **ERN-CAPRA**. Detalles del modelo se presentan en: <http://www.ecapra.org/es/> (wiki – amenazas)

3.1.2 Resultados de la amenaza sísmica

3.1.2.1 Participación de fuentes en la amenaza

La evaluación de la amenaza sísmica en un punto representativo del país indica la participación de las fuentes sismogénicas más cercanas. La Figura 3.1 presenta la participación relativa en términos de las tasas de excedencia de cada una de las fuentes sismogénicas principales y la amenaza global dada por la integración de las amenazas de las fuentes, en este caso específico para la ciudad de La Paz.

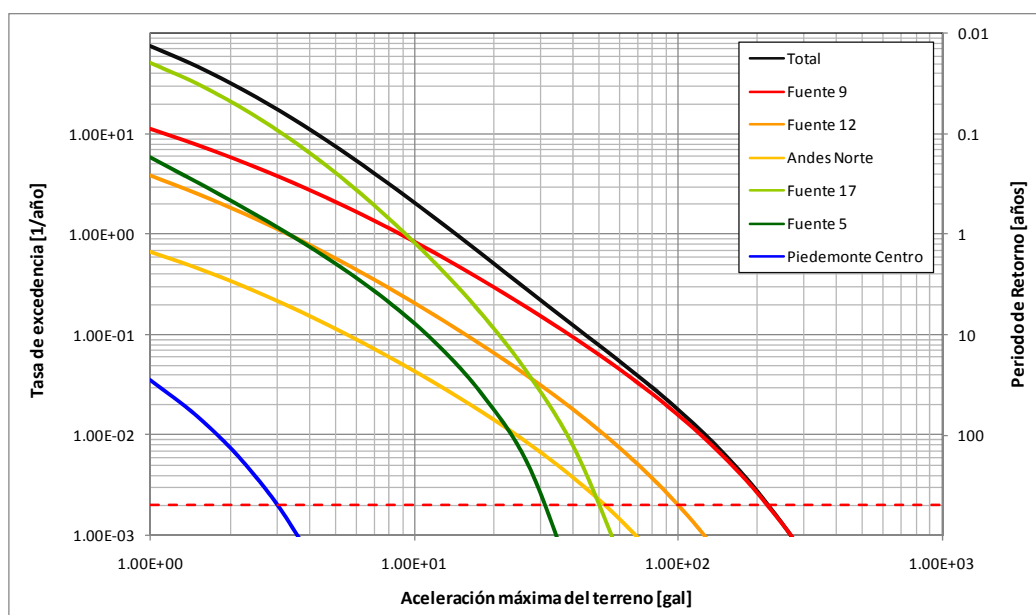


Figura 3.1
Tasas de excedencia de aceleración máxima del terreno para La Paz

Si sobre la Figura 3.1 se establece una tasa de excedencia para un estado de funcionalidad determinado es posible trazar líneas horizontales que interceptan a las curvas de las tasas de las diferentes fuentes que aportan amenaza a la región. Por ejemplo, al establecer un periodo de retorno de 500 años (tasa de 0.002/año) resulta posible encontrar los puntos de aceleración máxima de cada fuente sobre la zona de estudio. Además siguiendo la teoría clásica de amenaza sísmica es posible calcular la amenaza total de la contribución de todas las fuentes (ver Figura 3.2). Para un periodo de retorno de 500 años se obtiene una aceleración máxima probable en terreno firme del orden del 23% de la aceleración de la gravedad (228 gal).

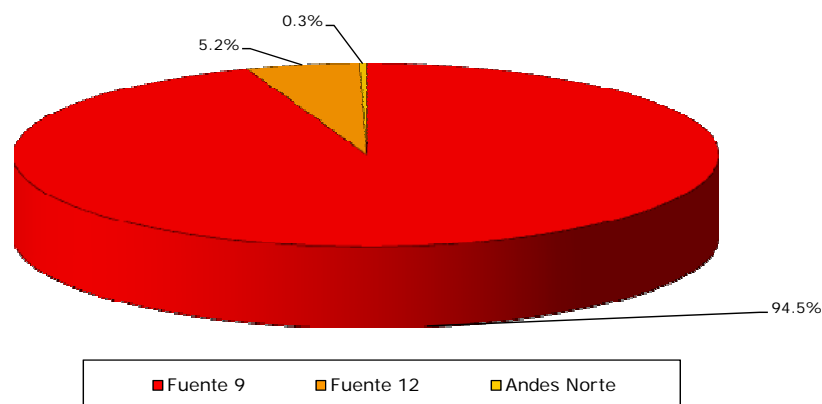


Figura 3.2
Porcentaje de participación de fuentes sísmicas en la amenaza de La Paz, para 500 años de periodo de retorno
 (Nótese que la Fuente 9 aporta cerca del 95% de la amenaza de la ciudad)

Extendiendo el procedimiento mencionado para diferentes ordenadas espectrales es posible construir espectros de amenaza uniforme que tienen la característica que todos los valores de intensidad sísmica calculados tienen la misma probabilidad de excedencia. En la Figura 3.3 se presentan espectros de peligro uniforme de aceleración, velocidad y desplazamiento espectral en terreno firme, para un punto ubicado en la zona de estudio.

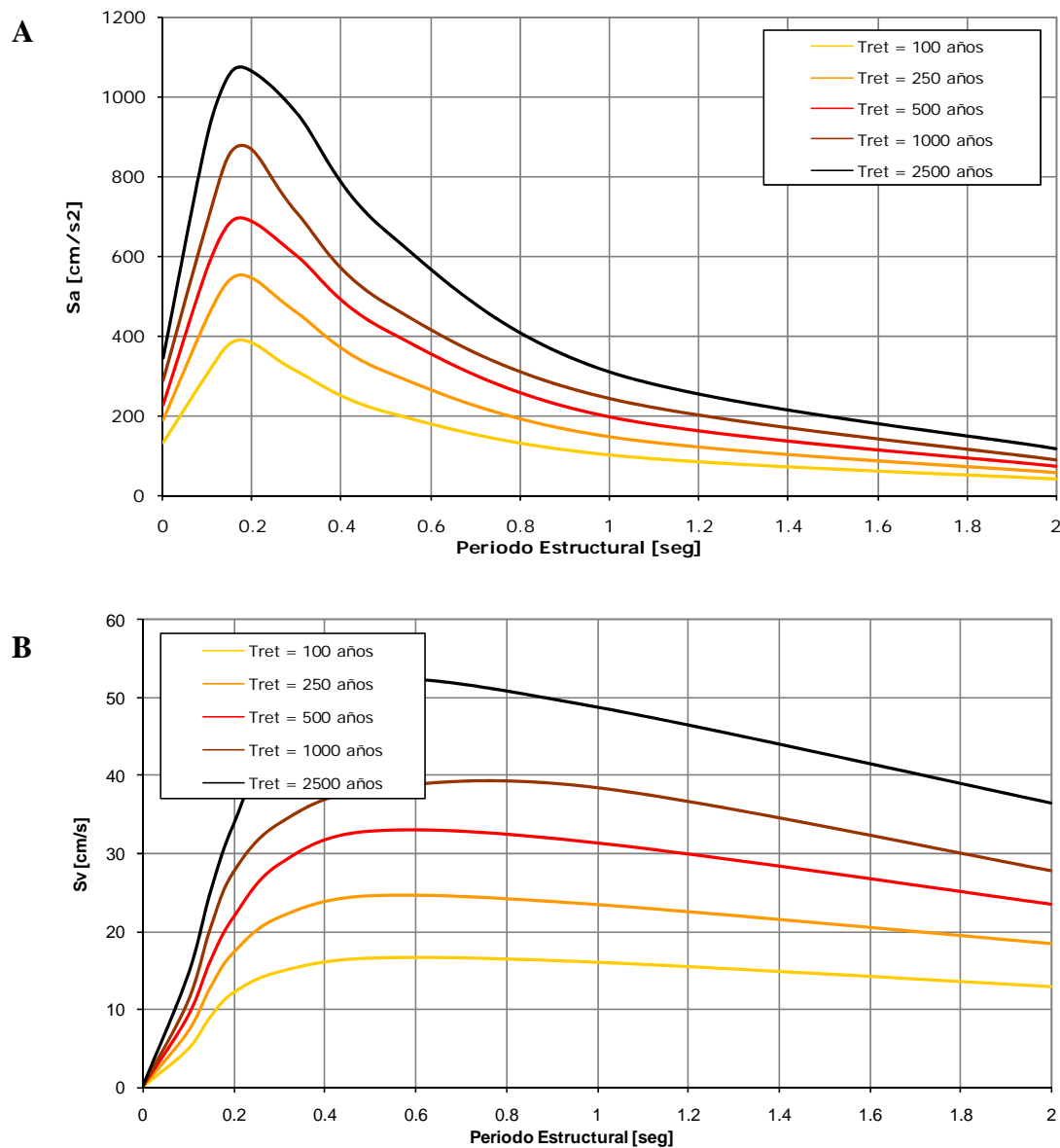


Figura 3.3

Espectros de amenaza uniforme para diferentes intensidades sísmicas. A: Aceleración [cm/s²], B: velocidad [cm/s], C: desplazamiento [cm]

(Los espectros de amenaza uniforme mostrados representan los niveles máximos de aceleración (A), velocidad (B) y desplazamiento (C), sentidos por estructuras con diferente periodo estructural)

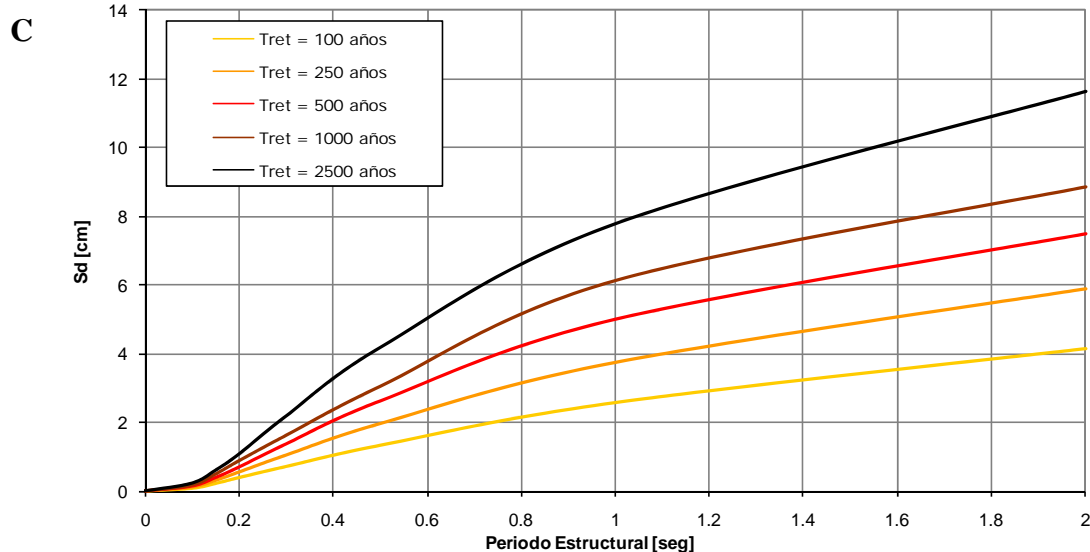


Figura 3.3

Espectros de amenaza uniforme para diferentes intensidades sísmicas. A: Aceleración [cm/s²], B: velocidad [cm/s], C: desplazamiento [cm] (continuación)

3.1.2.2 Amenaza sísmica en terreno firme a nivel regional

En este numeral se presentan los resultados de amenaza sísmica en terreno firme para todo el país considerando la totalidad de las fuentes sísmicas.

La Figura 3.4 presenta los mapas de amenaza sísmica en términos de aceleración espectral para 500 años de período de retorno, para algunos periodos estructurales escogidos. En la Figura 3.5 se presentan los mapas para aceleración máxima del terreno para diferentes periodos de retorno (Tret).

Los mapas de amenaza que se presentan corresponden a la respuesta esperada en las formaciones geológicas del basamento rocoso, con velocidades de onda de cortante en el orden de 800 m/seg o más. Al llegar a estos estratos y para las zonas en que existan depósitos de suelo blando de espesor considerable, la onda sísmica se propagará dentro del subsuelo superficial generalmente menos rígido, hasta alcanzar la cimentación de las estructuras o simplemente el nivel del terreno.

Para efectos de esta evaluación se trabaja de manera directa con los parámetros de amenaza obtenidos a nivel de terreno firme y no se incluyen efectos de respuesta sísmica local por depósitos de suelos específicos en las diferentes ubicaciones.

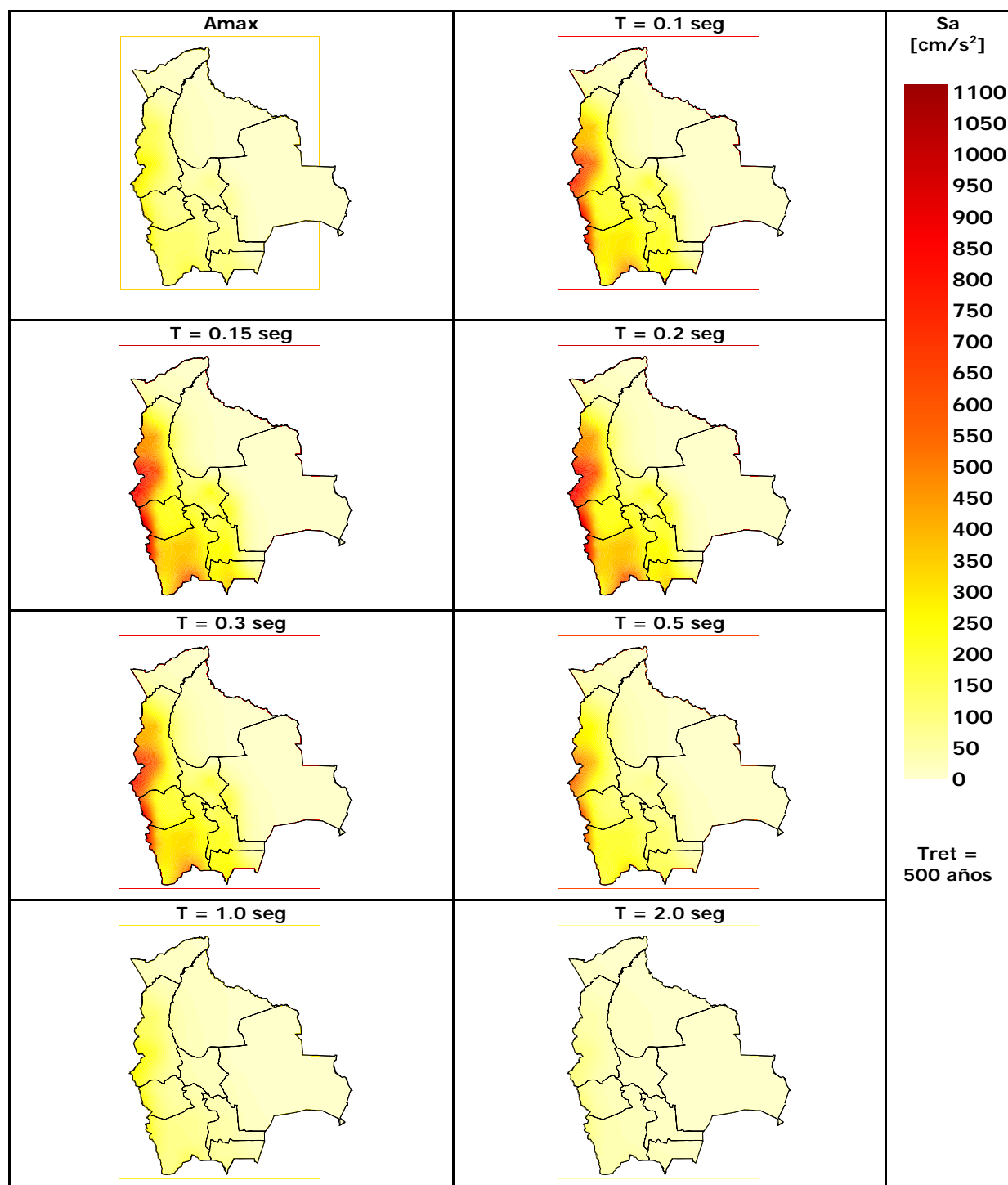


Figura 3.4

Mapas de aceleración espectral [cm/s²] a nivel de terreno firme. (T_{ret} = 500 años)
 (La amenaza del país se concentra hacia el oeste, en la frontera con Chile y Perú, en cercanías a la zona de subducción del Pacífico. Nótese como el valor de aceleración aumenta para diferentes periodos estructurales, alcanzando valores máximos en periodos relativamente cortos, representativos de edificaciones de entre 1 y 5 pisos)

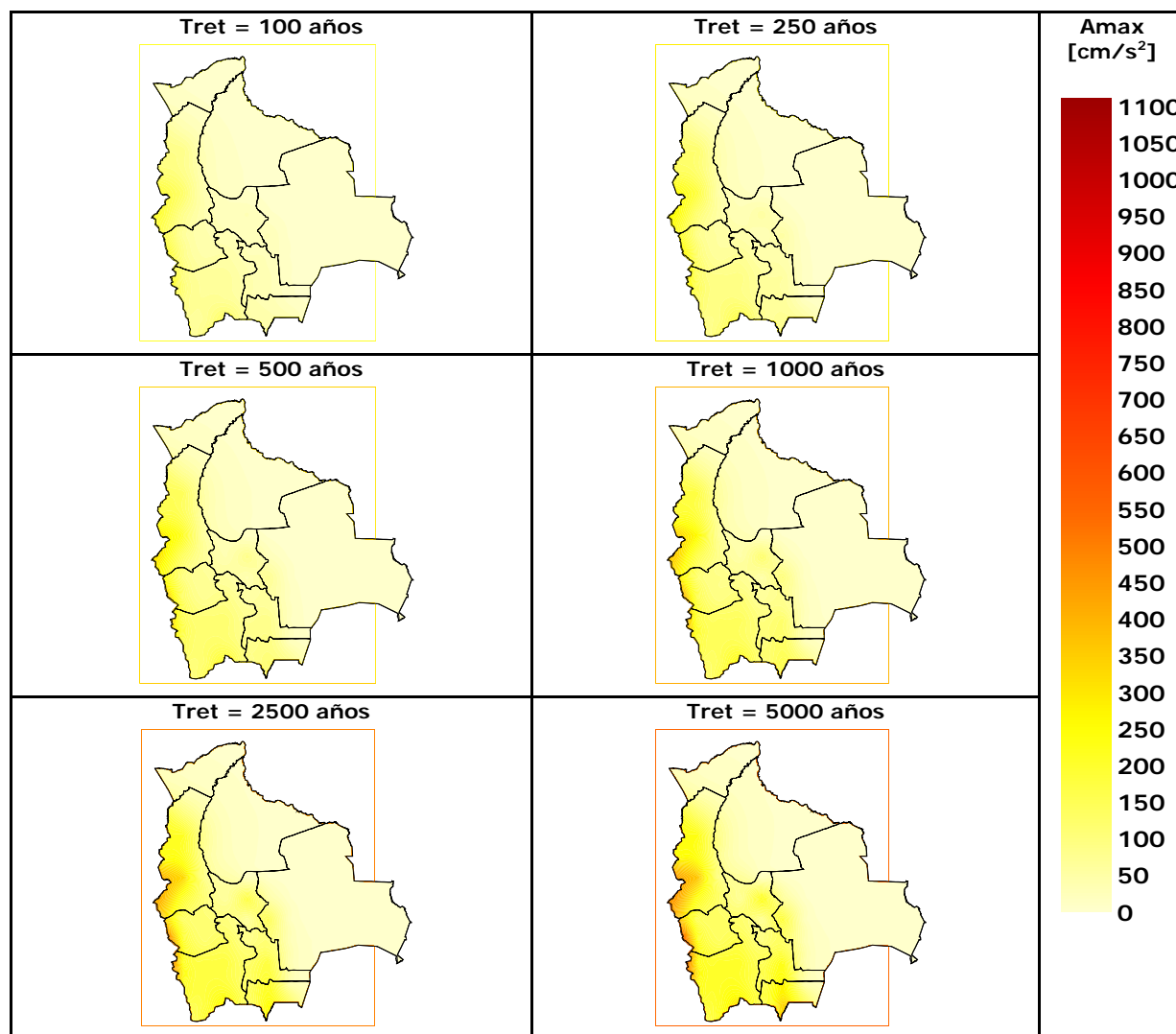


Figura 3.5

Mapas de aceleración máxima del terreno [cm/s²] para diferentes periodos de retorno.
 (Nótese como los valores de aceleración aumentan a medida que aumenta el periodo de retorno, lo que indica que existe una menor probabilidad que dichos valores se vean igualados o excedidos en una ventana de tiempo arbitraria)

3.1.2.3 Eventos estocásticos para el análisis de amenaza

Para el análisis probabilista del riesgo se simulan una serie de eventos estocásticos que representen de manera adecuada los efectos de sismos en cualquier ubicación y magnitud factible de presentarse en el área de influencia. El conjunto de escenarios que se generan deben representar de manera adecuada todos los hipocentros y toda la gama posible de magnitudes asociadas con una determinada localización hipocentral. Cada uno de estos eventos o escenarios tiene asociada una frecuencia de ocurrencia específica. Naturalmente,

los escenarios asociados a sismos de menor magnitud tendrán una mayor probabilidad de ocurrencia, mientras que los escenarios asociados a sismos de mayor magnitud tendrán una probabilidad de ocurrencia relativamente baja.

El procedimiento de cálculo probabilista consiste en evaluar los parámetros de riesgo deseados tales como porcentajes de daño, pérdidas económicas asociadas, efectos sobre la población y cualquier otro, para cada uno de los escenarios de amenaza y luego integrar probabilísticamente los resultados obtenidos utilizando las frecuencias de ocurrencia de cada escenario sísmico. Para el caso del análisis en Bolivia se generaron un total de 20016 escenarios de amenaza sísmica algunos de los cuales se ilustran en la Figura 3.6 y Figura 3.7.

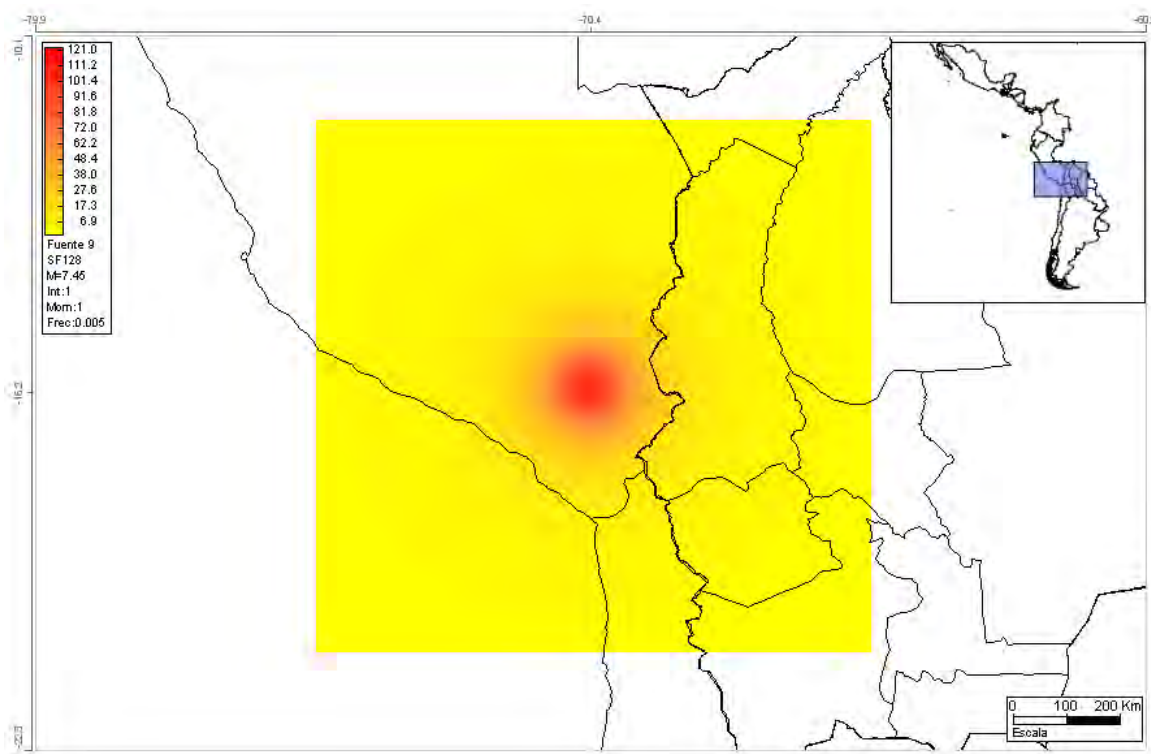


Figura 3.6
Mapa de distribución de aceleración máxima del terreno para un sismo de magnitud 7.5 ocurriendo en la zona cortical en el sur de Perú (Obtenido con el sistema CAPRA-GIS, ERN 2009)

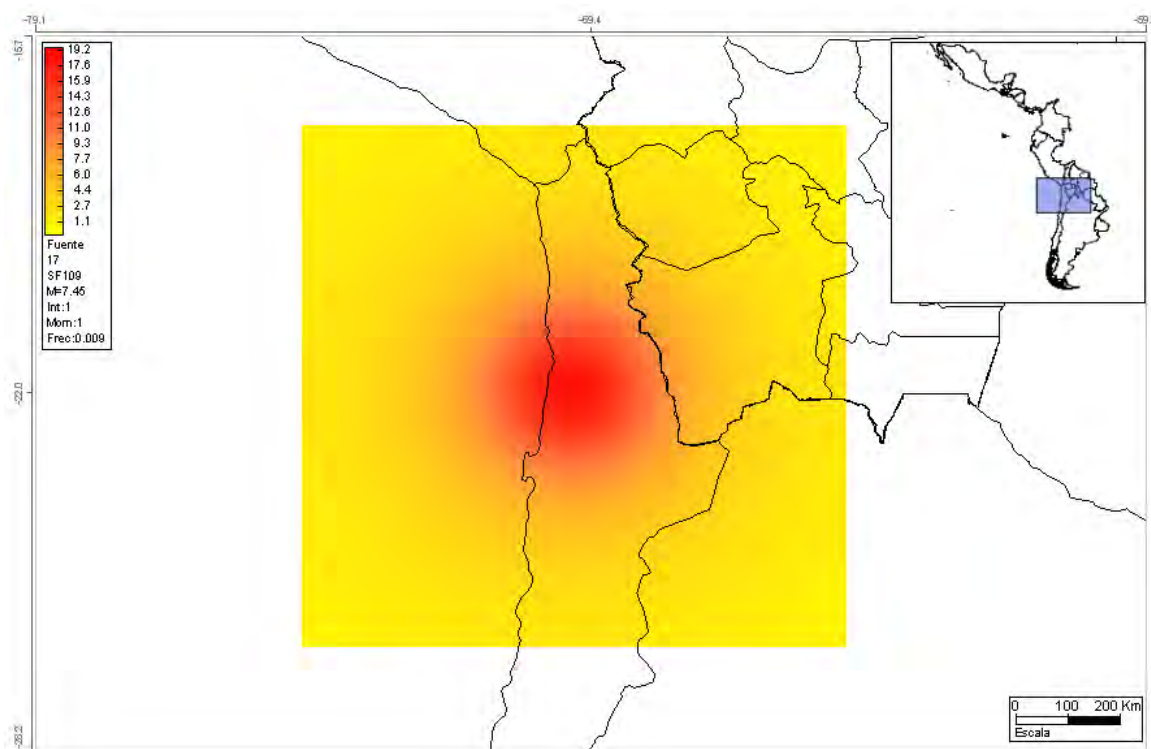


Figura 3.7

Mapa de distribución de aceleración máxima del terreno para un sismo de magnitud 7.5 ocurriendo en la Zona de subducción del Pacífico a nivel del norte de Chile (Obtenido con el sistema CAPRA-GIS, ERN 2009)

3.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA DE ACTIVOS

3.2.1 Aspectos generales

La vulnerabilidad sísmica es la relación entre cualquier medida de intensidad del fenómeno (aceleración, velocidad, desplazamiento o cualquier otra; la que mejor correlación presente) y el nivel de daño en el elemento físico expuesto a dicha intensidad sísmica. Por ejemplo para el caso de construcciones típicas de edificios de varios pisos, la intensidad sísmica que mejor se correlaciona con los daños esperados es la deriva o distorsión angular de entrepisos (relacionada con la deformación de la estructura ante las fuerzas sísmicas). Para otro tipo de construcciones como edificaciones menores en mampostería o adobe, se utiliza principalmente la aceleración máxima del terreno como parámetro de correlación con el daño. En otros casos como los sistemas de tuberías enterradas, resulta más conveniente utilizar como parámetro de intensidad como la velocidad máxima del terreno.

El procedimiento para la calificación de la vulnerabilidad sísmica de los diferentes elementos expuestos es el siguiente:

- (a) Tipificación de los tipos constructivos más representativos o predominantes en el conjunto de elementos expuestos, con base en la información existente y las opiniones y criterios aportados a nivel local.
- (b) Cálculo de las funciones de vulnerabilidad de los tipos constructivos característicos. Para este efecto se desarrollaron algunos modelos analíticos o se utilizaron algunas funciones aplicables ya publicadas según experiencias nacionales e internacionales previas.
- (c) Conformación de la base de datos de las construcciones y elementos principales que representan el inventario de activos de la nación.
- (d) Asignación de un tipo constructivo característico a cada uno de los elementos que conforman el inventario de activos expuestos y asignación de la función de vulnerabilidad correspondiente.

Una vez caracterizada la vulnerabilidad de cada uno de los elementos, se realiza el análisis de riesgo frente a la amenaza sísmica.

A continuación se presenta una descripción del tipo de funciones de vulnerabilidad que se utilizaron para diferentes elementos expuestos. Estas curvas están basadas en el comportamiento de componentes típicos equivalentes, obtenido de estudios previos o de análisis específicos de las condiciones de diseño y construcción de los elementos modelados.

3.2.2 Funciones de vulnerabilidad sísmica

Las edificaciones típicas de varios pisos incluyen construcciones de varios sistemas estructurales como son pórticos resistentes a momentos, sistemas combinados o duales, sistemas de edificaciones con muros estructurales, sistemas prefabricados y otros, en general comparten la característica de que el daño principal que se puede llegar a presentar depende principalmente de la deformación relativa piso a piso. Las funciones de vulnerabilidad para estos tipos constructivos se representan gráficamente como el *porcentaje de daño vs. deriva máxima de entrepiso de la edificación*.

Por otro lado, para sistemas constructivos tales como sistemas de muros estructurales de mampostería, construcciones menores en adobe, tapia y materiales locales, así como estructuras aisladas tales como muros de contención, tanques y similares, las funciones de vulnerabilidad que correlacionan de mejor manera son las basadas en parámetros como la aceleración máxima del terreno. En este caso las funciones de vulnerabilidad se representan de mejor manera como el *porcentaje de daño vs. aceleración espectral máxima* de la edificación.

La generación de funciones de vulnerabilidad se realiza en el Módulo de Vulnerabilidad del **ERN-CAPRA**, con base en la información disponible en <http://www.ecapra.org/es/> (wiki - vulnerabilidad).

3.2.3 Funciones de vulnerabilidad para los elementos expuestos

El análisis requiere funciones de vulnerabilidad para cada uno de los tipos de elementos que componen el inventario de activos del país. Los tipos de elementos son los siguientes:

Construcciones urbanas y rurales típicas

- (a) Residencial PB: capacidad económica baja (Res PB)
- (b) Residencial PM: capacidad económica media (Res PM)
- (c) Residencial PA: capacidad económica alta (Res PA)
- (d) Comercial
- (e) Industrial (estructuras con una gran área construida)
- (f) Salud privada
- (g) Educación privada
- (h) Salud pública
- (i) Educación pública
- (j) Gubernamentales

Infraestructura urbana

- (a) Subestaciones de energía más redes anexas
- (b) Subestaciones de comunicaciones más antenas
- (c) Presas, tanques y plantas de acueducto y alcantarillado
- (d) Redes de acueducto, alcantarillado
- (e) Redes de gas
- (f) Aeropuertos
- (g) Puertos
- (h) Puentes urbanos

Infraestructura nacional

- (a) Vías Red primaria (vías y puentes)
- (b) Vías Red secundaria (vías y puentes)
- (c) Hidroeléctricas (presas y casas de máquinas)
- (d) Plantas térmicas y geotérmicas
- (e) Subestaciones de energía más redes anexas
- (f) Subestaciones de comunicaciones más antenas
- (g) Subestaciones de combustible y gas más redes anexas.

Las funciones de vulnerabilidad para cada uno de estos componentes se calculan utilizando el Módulo de Vulnerabilidad del **ERN-CAPRA**. Las funciones se generan en términos de aceleración espectral o en términos de deriva estructural y luego se uniformizan todas en términos de aceleración espectral tal como se explicó anteriormente. Las curvas se

modifican con factores que tienen en cuenta aspectos particulares de los tipos constructivos locales tales como calidad de materiales, estado general de las construcciones, prácticas de diseño y construcción típicas, y en general las características específicas de los tipos estructurales predominantes.

En el vínculo <http://www.ecapra.org/es/> (wiki – vulnerabilidad) se presentan las funciones de vulnerabilidad utilizadas para el análisis. La Figura 3.8 presenta funciones en términos de la deriva estructural, mientras que la Figura 3.9 presenta funciones en términos de la aceleración espectral.

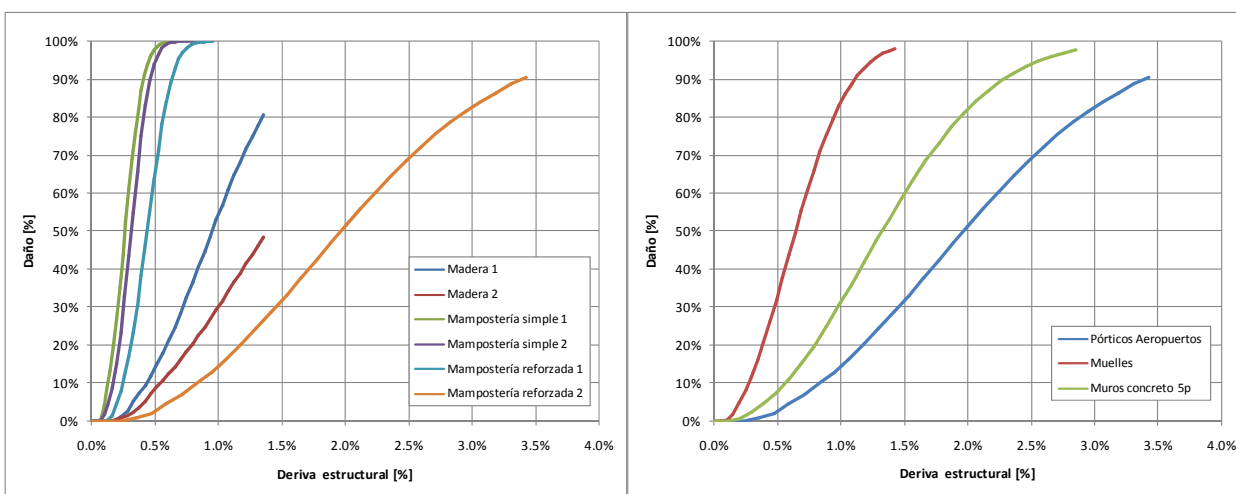


Figura 3.8
Funciones de vulnerabilidad (función de la deriva) para terremoto

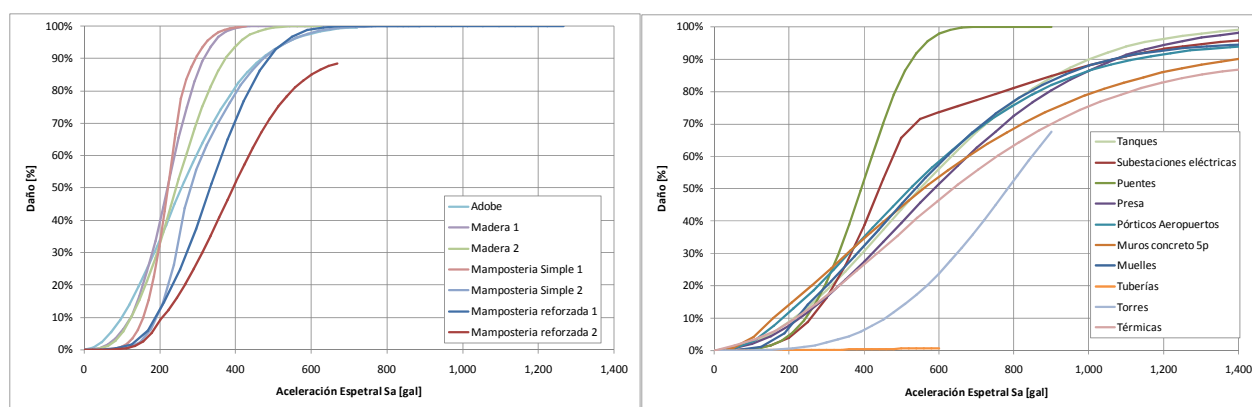


Figura 3.9
Funciones de vulnerabilidad (función de aceleración espectral) para terremoto

Considerando que cada una de estas funciones está asociada a un tipo estructural característico la Tabla 3.1 resume los periodos estructurales representativos de cada tipo estructural, con base en lo cual se realiza la asignación de la intensidad sísmica correspondiente a utilizar en el análisis.

Tabla 3.1
Tipos de funciones de vulnerabilidad, tipo estructural y período de vibración

Función de vulnerabilidad según tipo de estructura	Periodo de vibración representativo
AD – Adobe	0.15 seg
MD1 – Madera	0.50 seg
MD2 – Madera	0.50 seg
MS1 – Mamp. Simple	0.07 seg
MS2 – Mamp. Simple	0.10 seg
MR1 – Mamp. Reforzada	0.15 seg
MR2 – Mamp. Reforzada	0.20 seg
PCR – Pórticos de concreto Reforzado	0.75 seg

Función de vulnerabilidad según tipo de estructura	Periodo de vibración representativo
SubEst eléctricas	0.10 seg
SubEst Comunicaciones	0.75 seg
Presas	0.30 seg
Plantas y tanques	0.00 seg
Red Acueducto	0.00 seg
Red Alcantarillado	0.00 seg
Red Gas	0.00 seg
Aeropuertos (Terminal)	0.75 seg
Puertos (Bodegas)	0.75 seg
Puertos (Muelle)	0.50 seg
Puentes Urbanos	0.20 seg

Tabla 3.1
Tipos de funciones de vulnerabilidad, tipo estructural y período de vibración (continuación)

Función de vulnerabilidad según tipo de estructura	Periodo de vibración representativo
Red vial principal (Puentes)	0.20 seg
Red vial secundaria (Puentes)	0.20 seg
Hidroeléctricas (Presas)	0.30 seg
Hidroeléctricas (Casas de Maquinas)	0.75 seg
Plantas Térmicas	0.86 seg
Plantas Geotérmicas	0.86 seg
Distribución energética (Subestaciones)	0.10 seg
Distribución energética (Redes)	0.30 seg
Comunicaciones (Líneas Fijas)	0.75 seg
Comunicaciones (Líneas Móviles)	0.75 seg
Hidrocarburos Derivados	0.86 seg
Hidrocarburos (Gas)	0.86 seg

En el vínculo <http://www.ecapra.org/es/> (wiki – vulnerabilidad) se presentan las funciones de vulnerabilidad utilizadas en los análisis y la explicación de los diferentes niveles de daño esperado en cada uno de los tipos estructurales característicos.

3.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

3.3.1 Aspectos generales

Con base en los modelos de amenaza probabilísticos propuestos y en el inventario y valoración de activos expuestos con sus funciones de vulnerabilidad correspondientes, se desarrolla un modelo de análisis de riesgo probabilista para el país.

Tal como se explicó anteriormente, el análisis probabilista del riesgo se plantea con base en una serie de escenarios de amenaza que representan de manera adecuada los efectos de cualquier evento de magnitud factible que se puede presentar en el área de influencia. Cada uno de estos escenarios tiene asociada una frecuencia o probabilidad de ocurrencia específica. El procedimiento de cálculo probabilista consiste en evaluar con métricas apropiadas, en este caso la pérdida económica, para cada uno de los activos expuestos, considerando cada uno de los escenarios de amenaza, y luego integrar en forma probabilista los resultados obtenidos utilizando las frecuencias de ocurrencia de cada escenario.

El riesgo sísmico ha sido calculado utilizando la plataforma **ERN-CAPRA**. La metodología de cálculo se describe en el vínculo <http://www.ecapra.org/es/> (wiki – riesgo).

3.3.2 Pérdidas totales a nivel país

En primer lugar se presenta la Tabla 3.2 con la información consolidada a nivel de todo país como es el valor total expuesto, la pérdida anual esperada en valor y al millar (también conocida como prima técnica de riesgo) y valores indicativos de pérdida máxima probable para diferentes períodos de retorno.

Tabla 3.2
Resultados generales de PML por terremoto

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 ⁶	\$79,147
Pérdida anual esperada	US\$ x10 ⁶	\$115
	‰	1.5
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
50	\$538	0.7%
100	\$987	1.2%
250	\$1,781	2.2%
500	\$2,485	3.1%
1000	\$3,218	4.1%

La Figura 3.10 presenta la curva de excedencia de pérdidas a nivel país por terremoto.

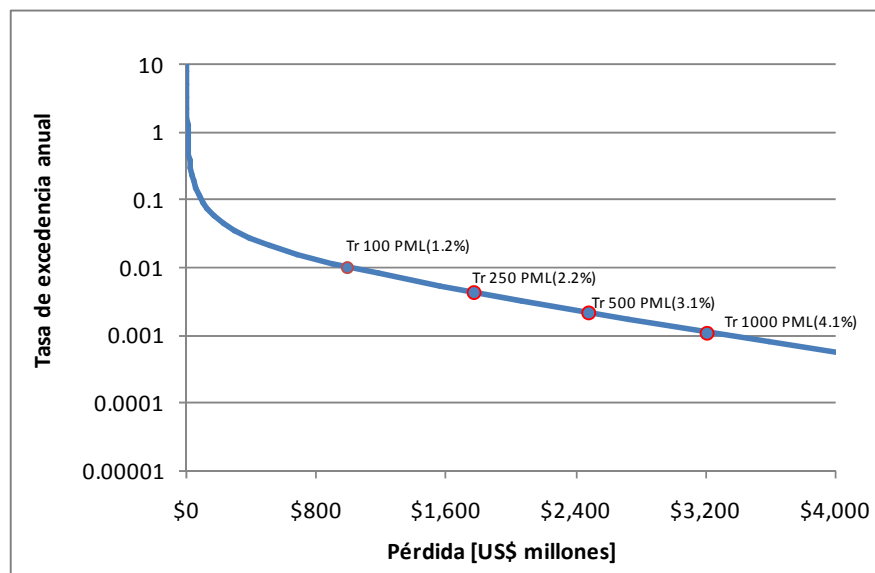


Figura 3.10
Excedencia de pérdidas por terremoto

La Figura 3.11 presenta la curva de pérdida máxima probable en valor y en porcentaje para diferentes periodos de retorno. Paralelamente se presentan en la Figura 3.12 las curvas de probabilidad de excedencia de diferentes valores de PML en % para diferentes períodos de exposición, en particular 20, 50, 100 y 200 años.

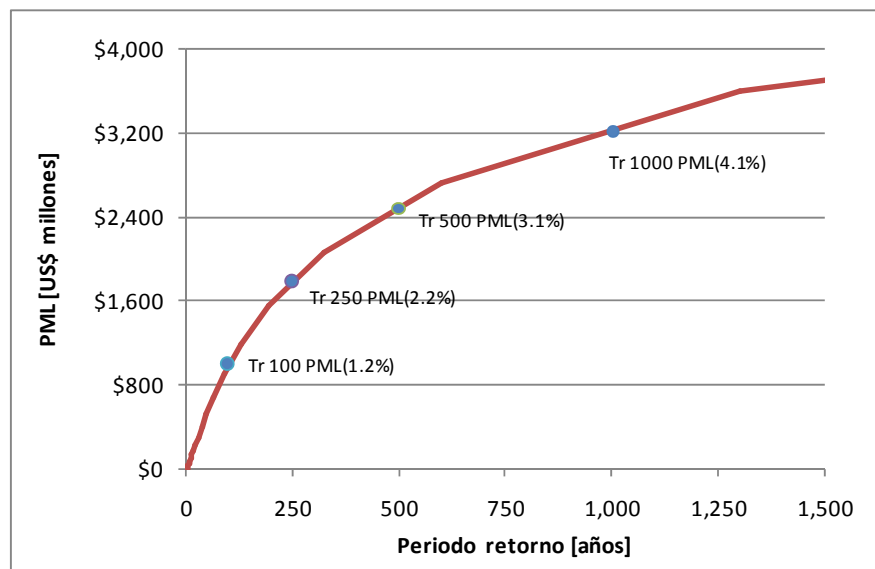


Figura 3.11
Curva de PML por terremoto

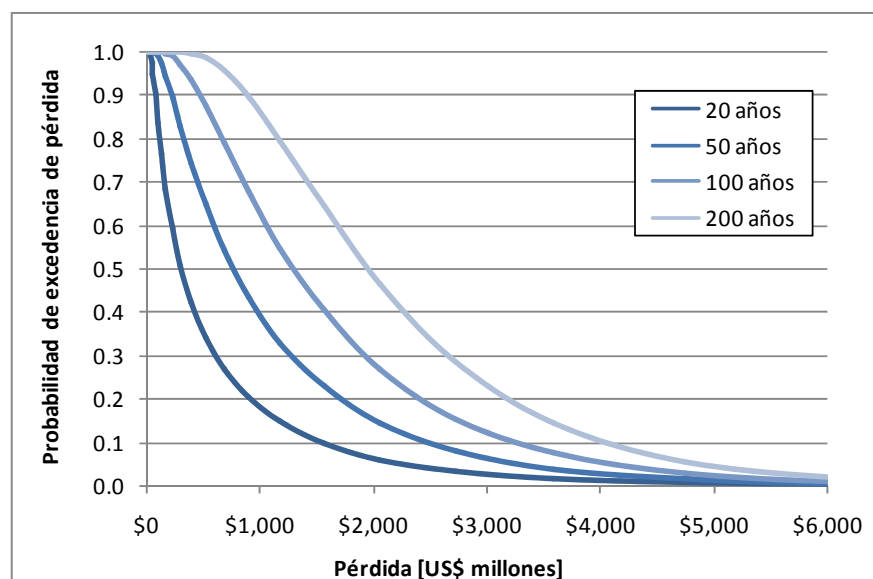


Figura 3.12

Curvas de probabilidad de excedencia de diferentes valores de PML, para diferentes tiempos de exposición, para terremoto

La Tabla 3.3 resume por su parte los escenarios críticos resultantes del análisis, es decir los escenarios que resultaron con las mayores pérdidas económicas esperadas.

Tabla 3.3

Escenarios críticos de análisis por terremoto

N°	Escenario		Pérdida		Frecuencia	Per retorno escenario [años]
	Fuente	Magnitud	[US\$ x 106]	%		
6028	Fuente 9_SF107	7.4	863.16	2.49%	4.63E-03	216
6024	Fuente 9_SF106	7.4	628.92	1.86%	4.63E-03	216
6020	Fuente 9_SF105	7.4	621.75	1.83%	4.63E-03	216
19260	Andes Norte_SF179	6.3	464.42	1.31%	3.31E-04	3017
19268	Andes Norte_SF181	6.3	453.70	1.27%	3.31E-04	3017
19284	Andes Norte_SF185	6.3	451.48	1.27%	3.31E-04	3017
6004	Fuente 9_SF101	7.4	436.23	1.34%	4.63E-03	216
9484	Fuente 12_SF235	7.1	396.56	1.14%	9.43E-04	1061
6032	Fuente 9_SF108	7.4	387.96	1.19%	4.63E-03	216
6027	Fuente 9_SF107	6.8	377.00	1.09%	9.33E-03	107

3.4 CONCENTRACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

El análisis de concentración del riesgo se realiza a nivel de departamentos y a nivel de los diferentes sectores de uso, para los sectores público y privado, así como para los principales componentes de la infraestructura nacional.

3.4.1 Comparación de pérdidas por departamento

Las pérdidas se evalúan por departamento como unidad geográfica de análisis. La Figura 3.13 presenta la comparación de valores expuestos por departamento.

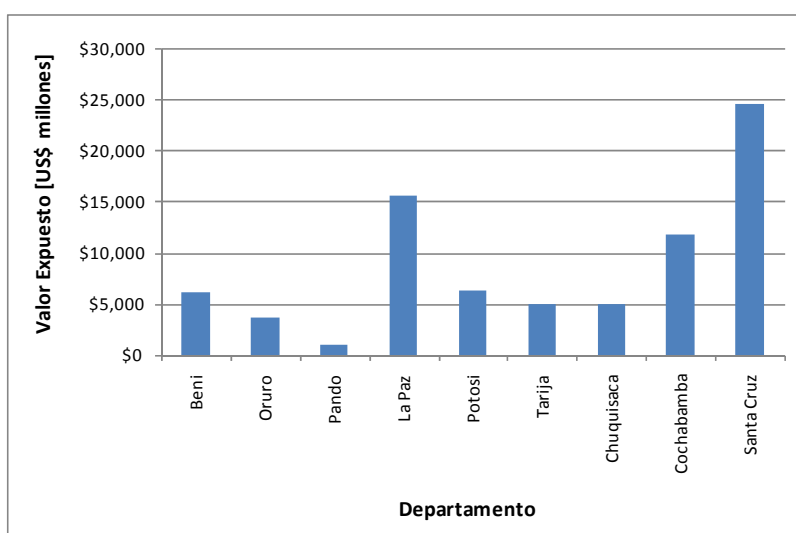


Figura 3.13
Valores expuestos por departamento

Para cada uno de los departamentos, se realiza en forma complementaria un análisis individual, que permite estimar el nivel de pérdida máxima probable y el nivel de primas individuales por departamento. La Figura 3.14 presenta un ejemplo del formato¹ de presentación de los resultados individuales para cada uno de los departamentos. En el Anexo 5 se presentan los resultados individuales para los departamentos restantes. En cada caso se presentan resultados correspondientes a:

- Tabla resumen de pérdida anual esperada (AAL) y pérdida máxima probable (PML)
- Curvas de tasa de excedencia de pérdidas y de PML con el período de retorno

¹ La probabilidad de exceder una pérdida de un periodo de retorno en un tiempo de exposición dado, no depende del valor mismo de la pérdida sino únicamente del periodo de retorno y el tiempo de exposición según la ecuación descrita a continuación: $P(p)=1-\exp(-T_{\text{exposición}}/T_{\text{retorno}})$. Donde: $P(p)$: es la probabilidad de exceder una pérdida, $T_{\text{exposición}}$: es el período de tiempo en el que la estructura estará expuesta., T_{retorno} : es el período de retorno para el cual se quiere calcular la probabilidad de excedencia de pérdida. Es por esto que los valores de las tablas a los que hace mención son iguales. Se presentan las probabilidades de pérdidas para tiempos de exposición de 20, 50, 100 y 500 años y períodos de retorno de 100, 250, 500 y 1000 años.

- Diagrama de barras con los valores de AAL en valor y al millar discriminados para cada uno de los sectores de uso.

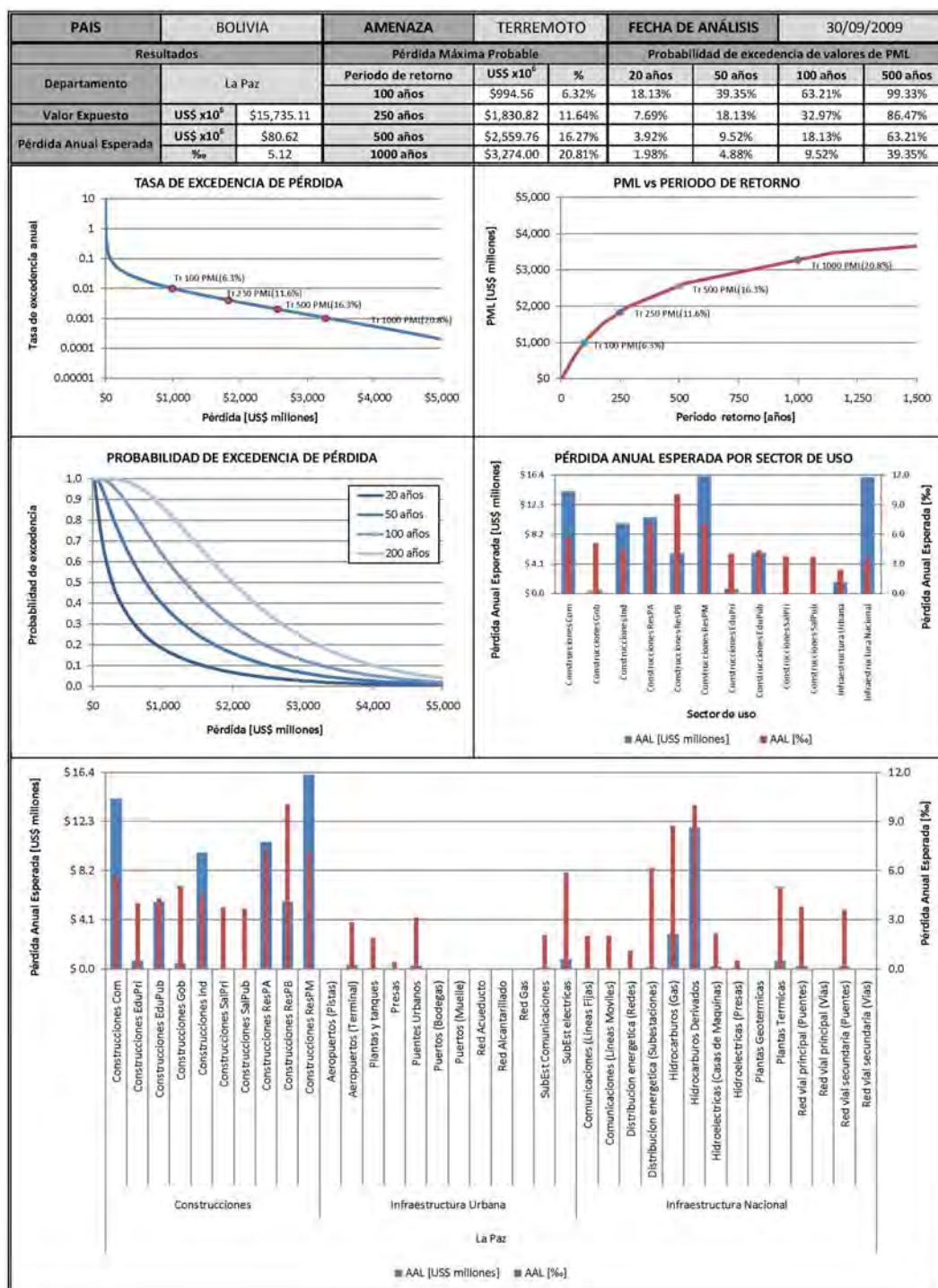


Figura 3.14
Ejemplo de resultados por terremoto para La Paz

La Figura 3.15 resume los valores de PML para periodos de retorno de 250, 500 y 1000 años para cada uno de los departamentos tanto en valor como en porcentaje.

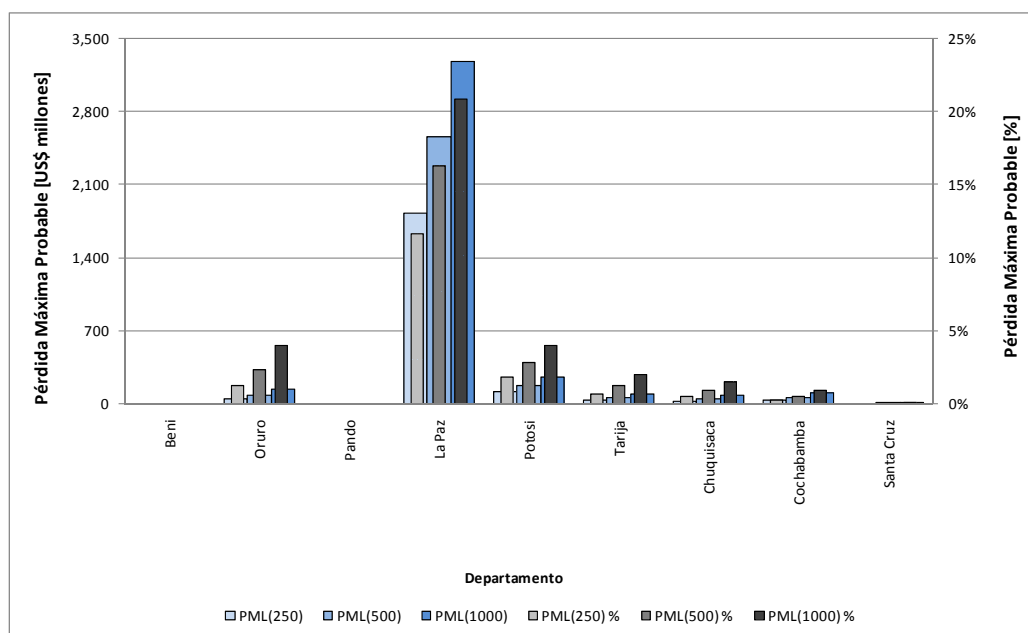


Figura 3.15

Valores de PML por terremoto y para varios periodos de retorno en cada departamento

Por otro lado la Figura 3.16 presenta los valores correspondientes de AAL tanto en valor como al millar.

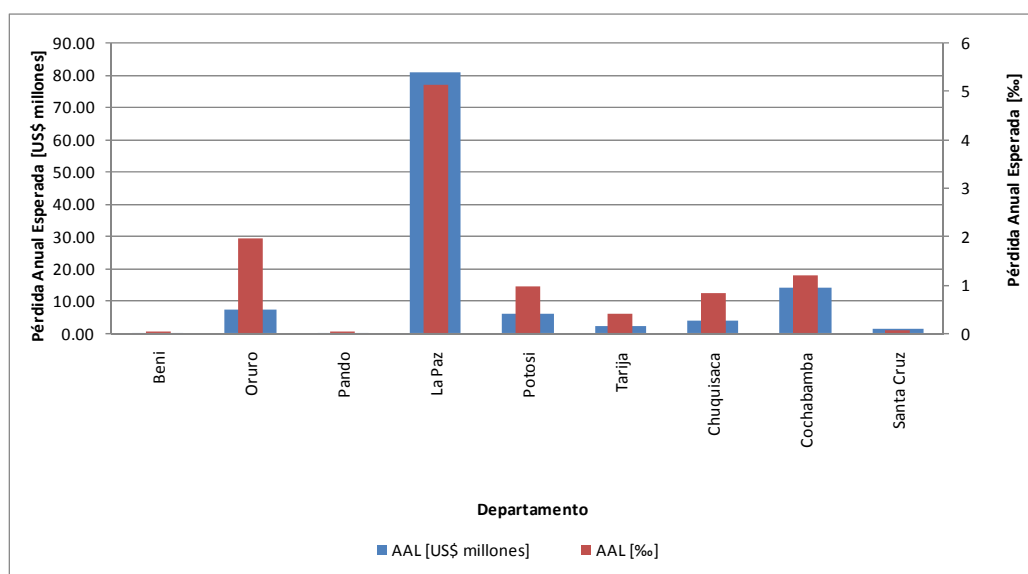


Figura 3.16

Valores de AAL por terremoto y por departamento

En la Figura 3.17 se presenta el desglose de las pérdidas anuales esperadas por sectores para cada uno de los departamentos. Los sectores considerados son las construcciones urbanas, la infraestructura urbana y la infraestructura nacional asociada con cada departamento.

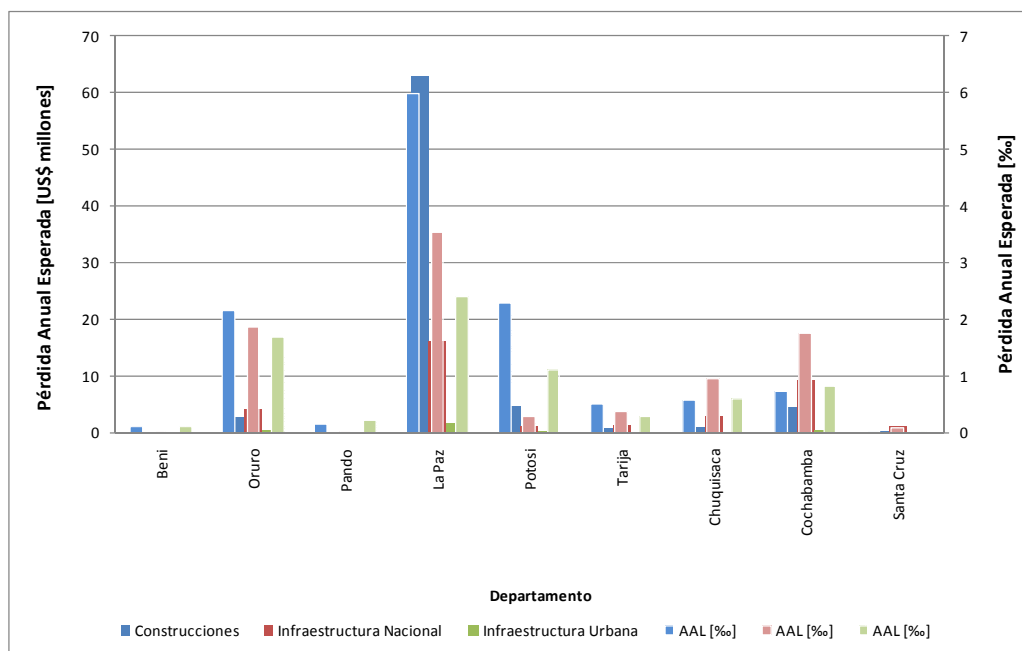


Figura 3.17

Valores de AAL por terremoto y por departamento desglosada por sectores

Finalmente la Figura 3.18 y la Figura 3.19 presentan la distribución geográfica de la pérdida anual esperada en valor y al millar para cada una de las provincias. Por otro lado, la Figura 3.20 y la Figura 3.21 presentan la pérdida máxima probable en valor y en porcentaje para cada uno de los departamentos.

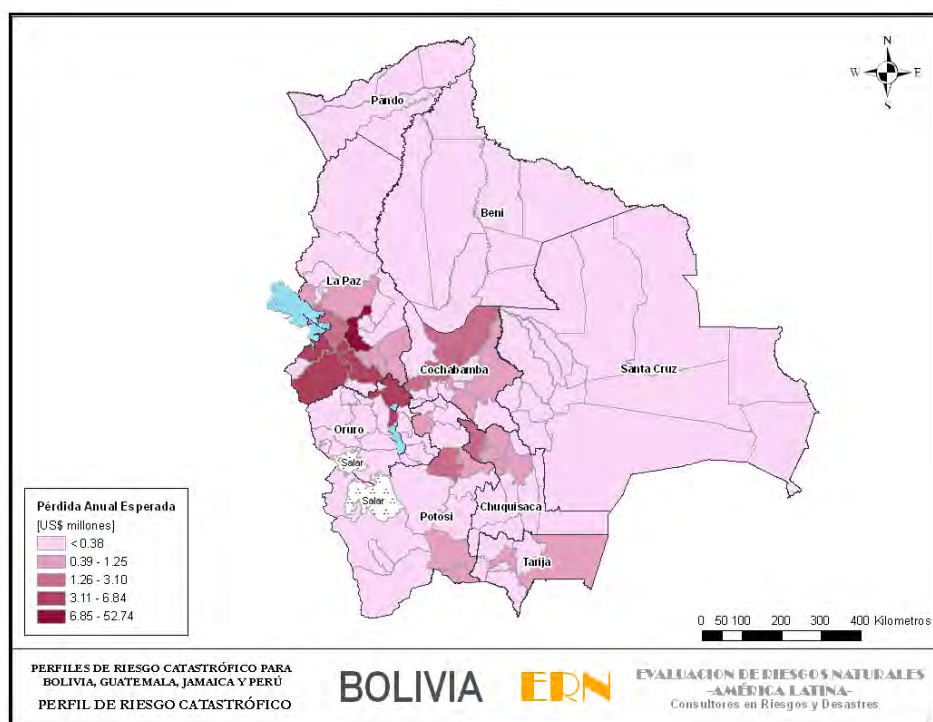


Figura 3.18
Distribución geográfica de AAL (valor) por terremoto y por provincia

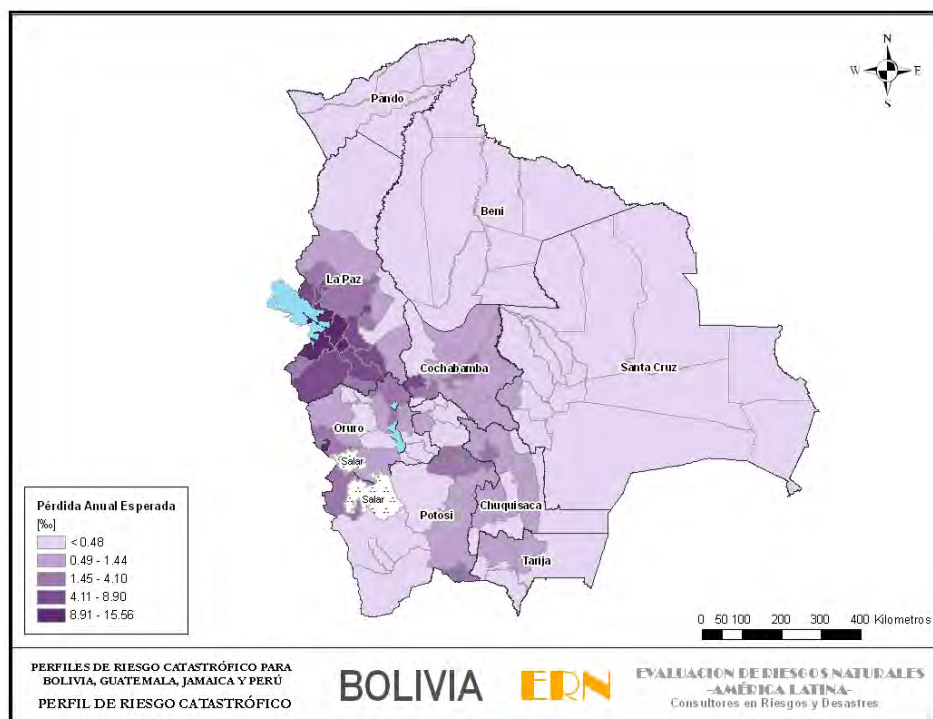


Figura 3.19
Distribución geográfica de AAL (%) por terremoto y por provincia

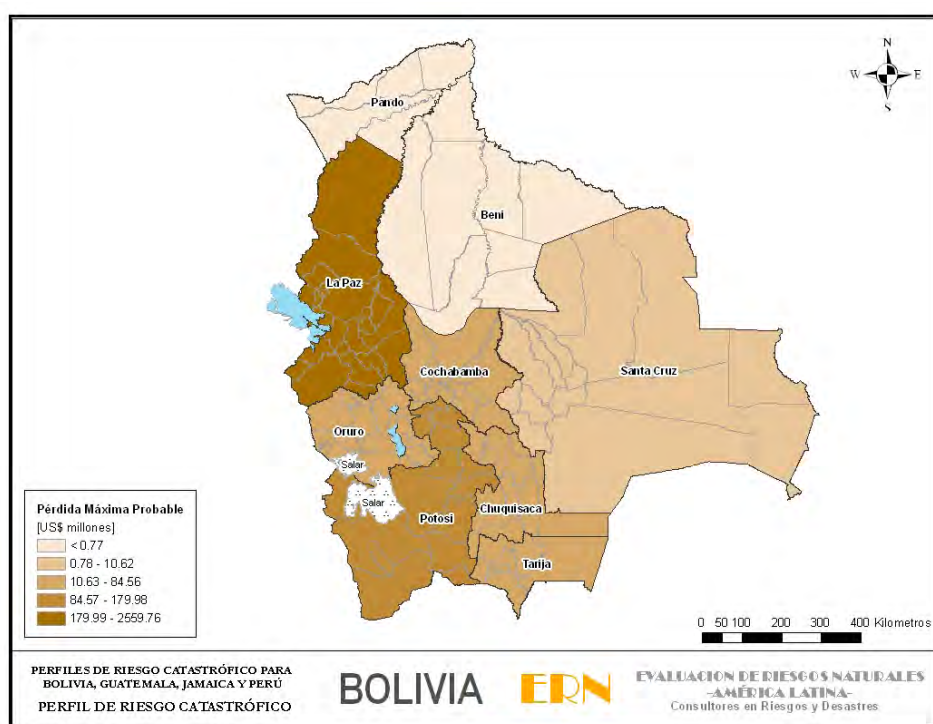


Figura 3.20
Distribución geográfica de PML (valor) por terremoto y por departamento

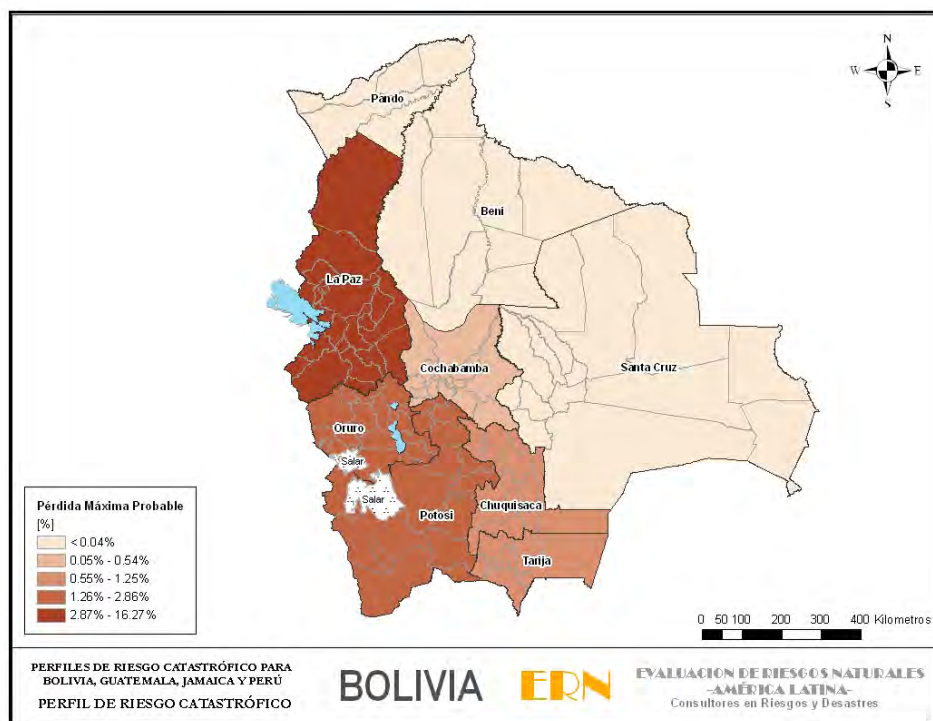


Figura 3.21
Distribución geográfica de PML (%) por terremoto y por departamento

3.4.2 Comparación de pérdidas por sector

La Figura 3.22 presenta la comparación de los valores relativos expuestos por sector a nivel del país.

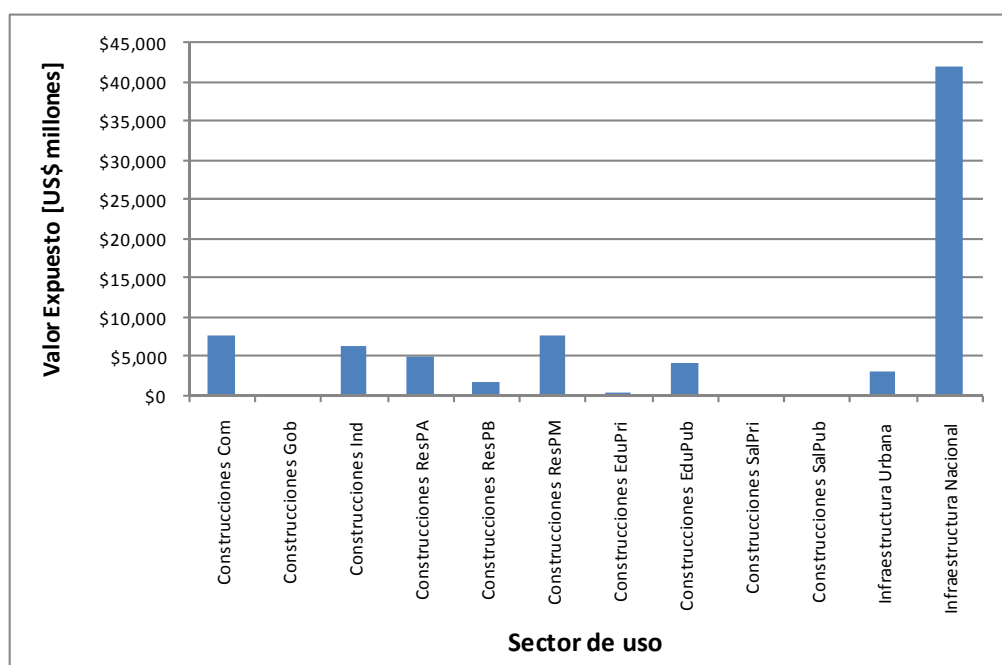


Figura 3.22
Valores expuestos por uso

La Figura 3.23 totaliza la pérdida anual esperada en valor y al millar para cada uno de los sectores de uso y para todo el país en forma agregada.

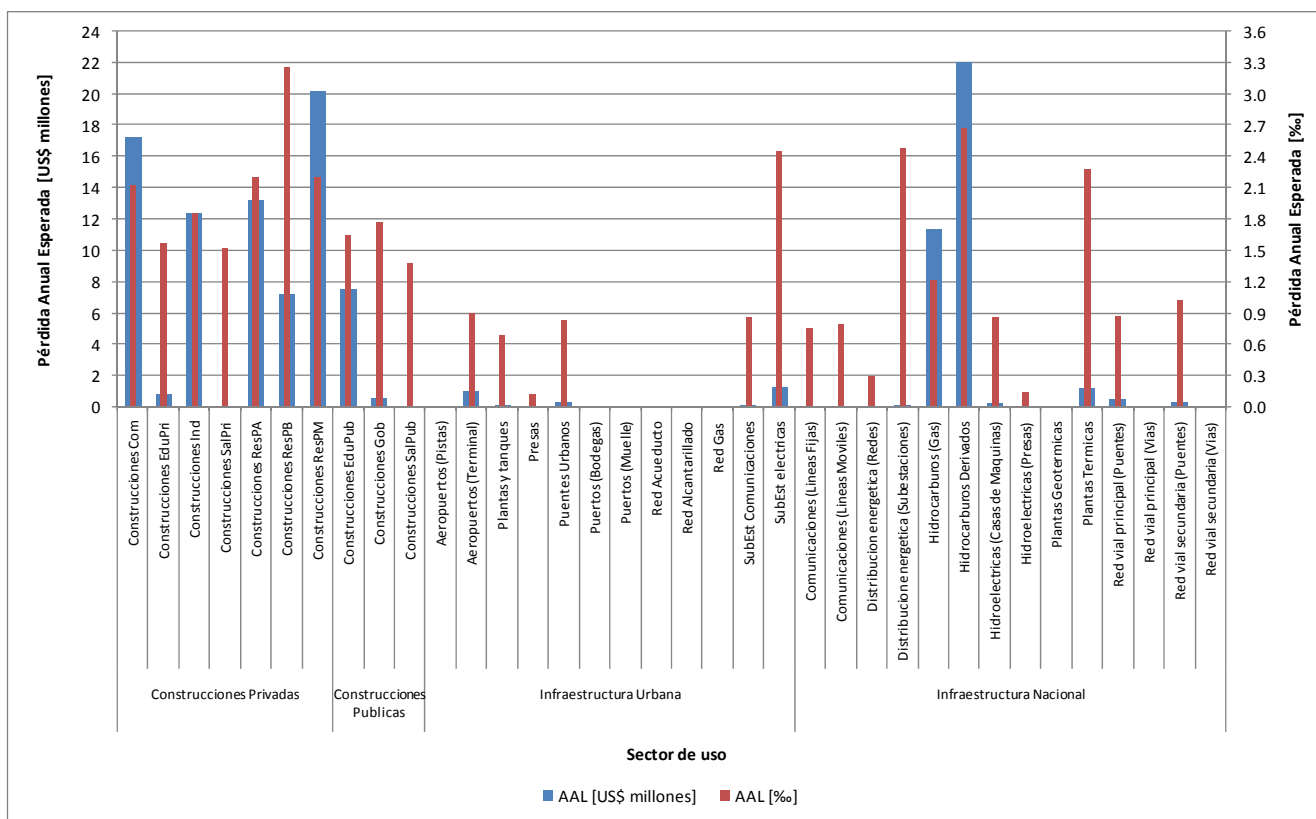


Figura 3.23
 Valores de AAL por terremoto y por sectores

Por otro lado y en forma más resumida, la Figura 3.24 presenta los resultados equivalentes a la totalización de los valores para los tres sectores de uso principales que corresponden a construcciones urbanas, infraestructura urbana e infraestructura nacional.

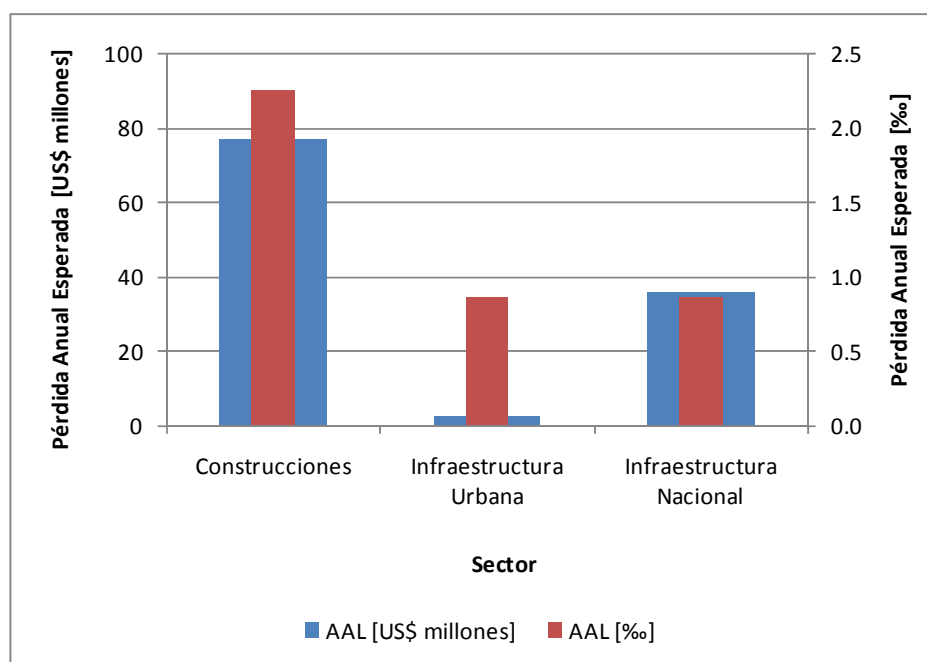


Figura 3.24
Resumen de distribución de AAL por terremoto y por sectores

3.4.3 Pérdida máxima probable para sectores público y privado

Para evaluar la pérdida máxima probable para los sectores público y privado es necesario realizar análisis para cada uno de los portafolios que se desee estudiar, ya que los resultados de este tipo de análisis dependen de la distribución geográfica relativa de los valores expuestos.

El sector público incluye las construcciones urbanas públicas (salud, educación –cuando son del Estado– y gubernamentales) así como toda la infraestructura. Por su parte el sector privado incluye únicamente las construcciones residenciales, comerciales, industriales y las construcciones respectivas del sector salud y educación.

La Figura 3.25 presenta los valores expuestos a nivel de sector público y privado en el país.

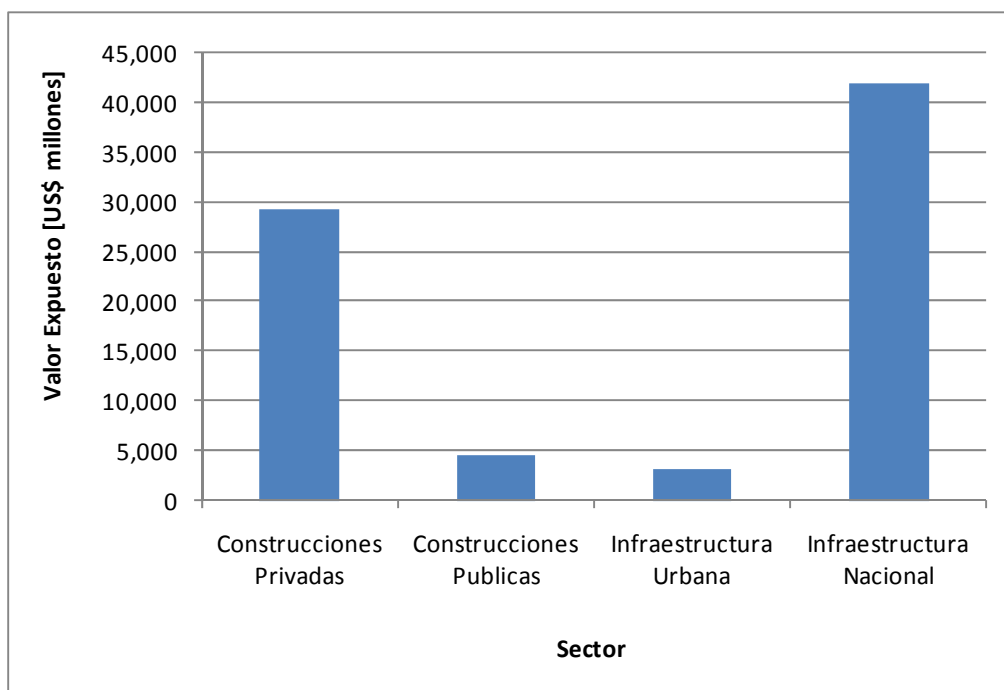


Figura 3.25
Valores expuestos por sectores

La Figura 3.26 y Figura 3.27 presentan la curva de PML para cada uno de estos sectores.

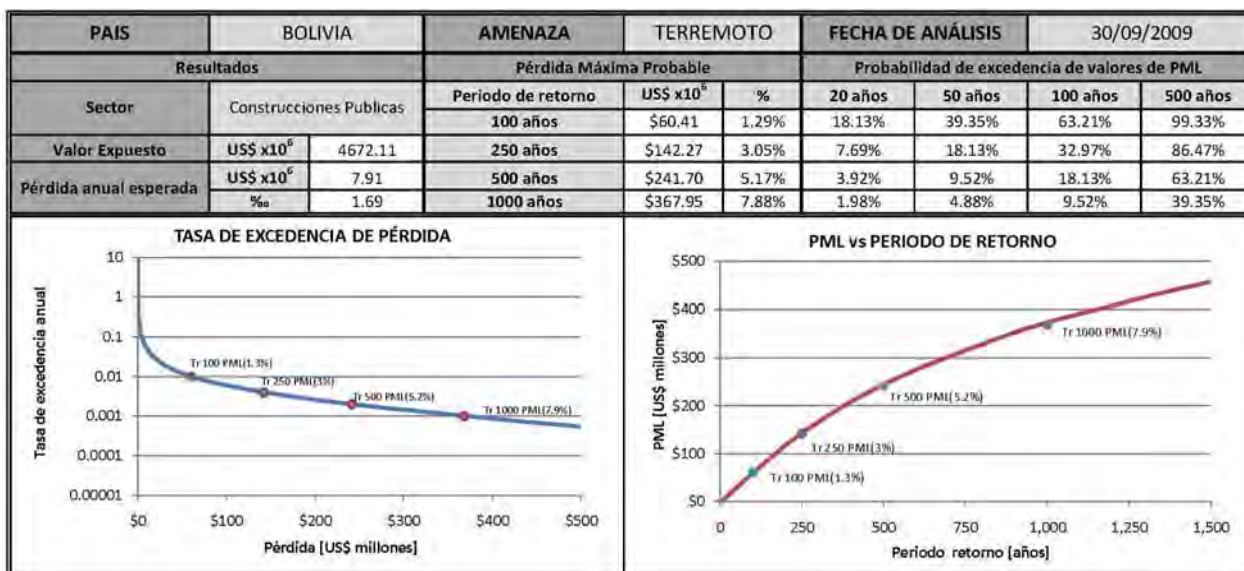


Figura 3.26
Curva de excedencia de pérdidas y de PML por terremoto y para construcciones públicas

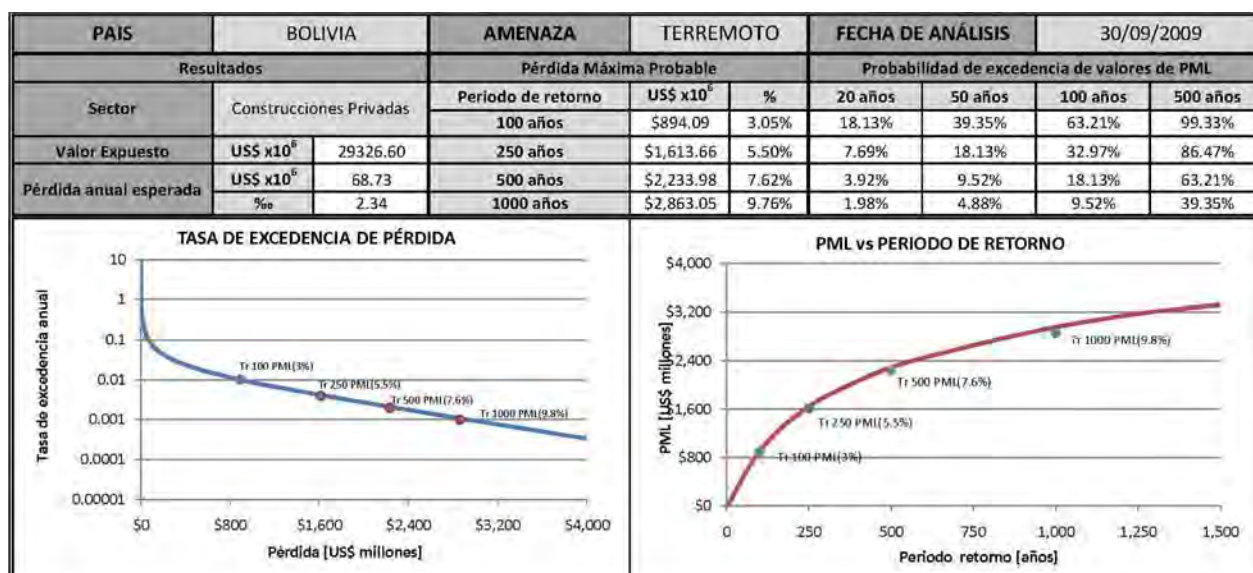


Figura 3.27

Curva de excedencia de pérdidas y de PML por terremoto y para construcciones privadas

3.4.4 Pérdida máxima probable para la infraestructura nacional

Un análisis similar al anterior se realiza para el sector de infraestructura nacional teniendo en cuenta que se han podido realizar análisis individuales para:

Generación y distribución de energía
 Comunicaciones
 Transportes (vías y puentes)
 Hidrocarburos

Para cada uno de estos sectores se presentan los resultados de curvas de PML vs. período de retorno y resultados globales de AAL en valor y al millar. La Figura 3.28 a Figura 3.31 resumen estos resultados. En el Anexo 6 se presentan los resultados para los demás sectores.

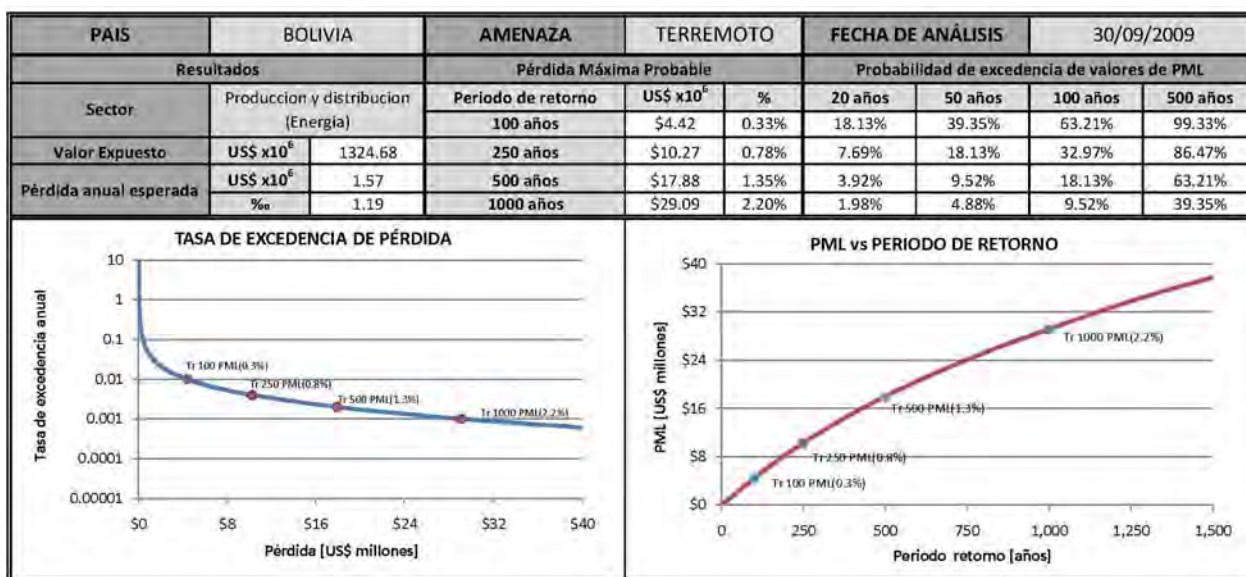


Figura 3.28
 Curva de excedencia de pérdidas y de PML por terremoto para el sector energía

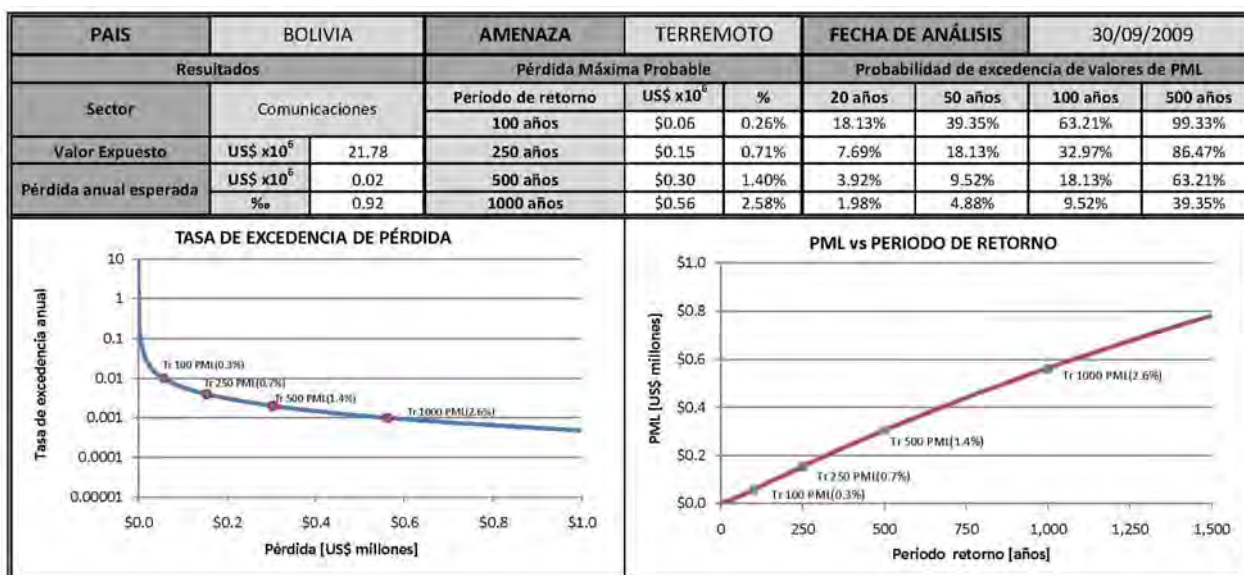


Figura 3.29
 Curva de excedencia de pérdidas y de PML por terremoto para el sector comunicaciones

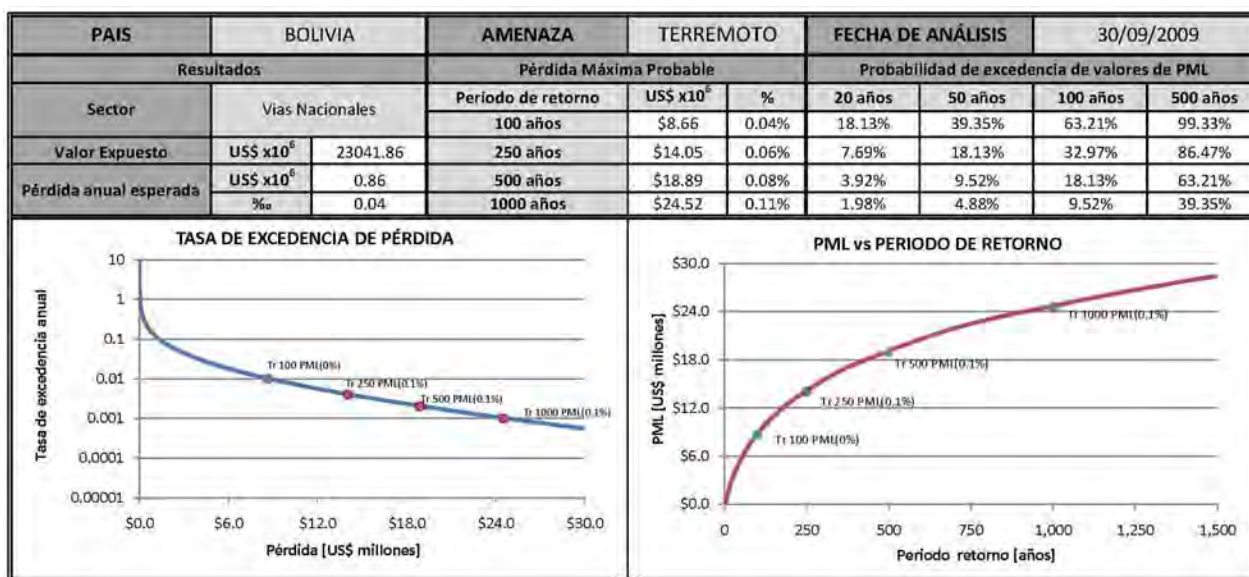


Figura 3.30
Curva de excedencia de pérdidas y de PML por terremoto para el sector transporte

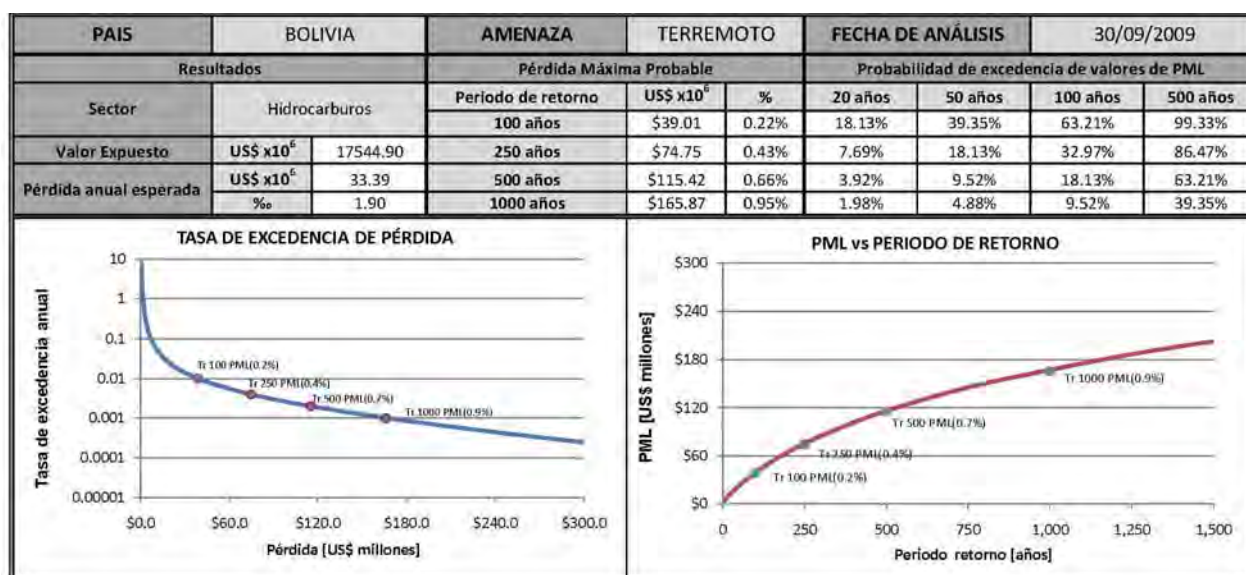


Figura 3.31
Curva de excedencia de pérdidas y de PML por terremoto para el sector de hidrocarburos

4 INFLUENCIA DEL DEDUCIBLE

El deducible corresponde a la fracción de la pérdida total, o valor económico absoluto, que según las condiciones de negociación de seguros el gobierno tendría que asumir. El efecto del deducible es muy importante para la negociación del seguro y/o reaseguro pues en caso de ser un valor alto reduciría de manera significativa el valor de la prima de riesgo en una

fracción importante. Ahora bien, el deducible lo debe cubrir en teoría cada uno de los propietarios asegurados si son diferentes entidades del Estado o del sector privado, excepto que en el caso de los propietarios de más bajos recursos, el gobierno decida financiar directamente estas cuantías con recursos propios, o tener previsto un mecanismo de financiación para cubrir dicho valor, si se considera pertinente cubrir esa parte de las pérdidas. En otras palabras el deducible establece un primer nivel de retención de riesgo que es necesario considerar para evaluar las implicaciones del mismo. En la Tabla 4.1 se presentan resultados de pérdida anual esperada (AAL) y pérdida máxima probable (PML) por terremoto para el portafolio del país, utilizando para efectos ilustrativos deducibles de: 0%, 3%, 5% (ver Figura 4.1).

Tabla 4.1
Resultados generales de AAL y PML por terremoto
bajo diferentes deducibles

Resultados - Sismo							
Deducible	%	0%		3%		5%	
Valor Expuesto	US\$ x10 ⁶	\$79,147					
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	\$115		\$43		\$40	
	‰	1.46		0.55		0.51	
PML							
Periodo retorno		Pérdida					
años		US\$ x10 ⁶	%	US\$ x10 ⁶	%	US\$ x10 ⁶	%
50		\$538	0.7%	\$439	0.6%	\$406	0.5%
100		\$987	1.2%	\$853	1.1%	\$803	1.0%
250		\$1,781	2.2%	\$1,623	2.1%	\$1,562	2.0%
500		\$2,485	3.1%	\$2,306	2.9%	\$2,224	2.8%
1000		\$3,218	4.1%	\$3,053	3.9%	\$2,959	3.7%

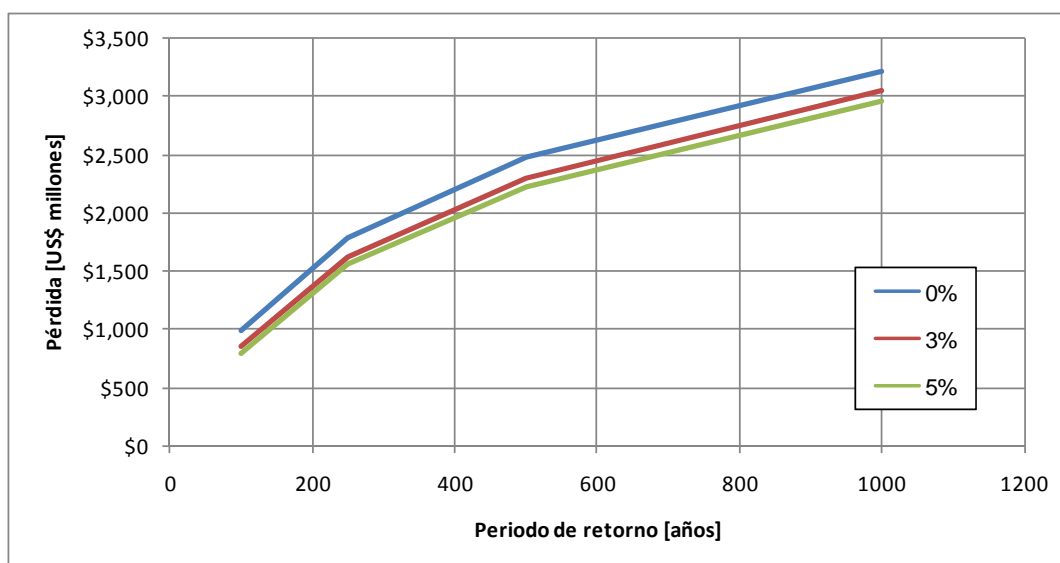


Figura 4.1
Valores de PML por terremoto para cada uno de los deducibles

En conclusión las pérdidas futuras por sismo son muy importantes en Bolivia, y deben ser consideradas en cualquier tipo de cobertura multiriesgo que se pueda llegar a definir. Este estudio presenta cifras de especial importancia para el diseño de instrumentos financieros que, como se describe en el informe complementario “Alternativas de Instrumentos Financieros para la Retención y Transferencia de Riesgo” van desde fondos de reservas, créditos contingentes, bonos de deuda (en relación con alternativas de retención del riesgo) hasta seguros/reaseguros indemnizatorios o paramétricos, bonos de catástrofe, titularización de riesgo, etc. (en relación con alternativas de transferencia de riesgo).

5 PRIMAS PARA CAPAS DE PÉRDIDA

En este estudio se realiza un análisis de costos de prima por capas. Estos costos son útiles para diseñar estrategias de protección financiera definiendo estructuras de retención y transferencia de riesgo y así determinar los costos de cada instrumento financiero que se seleccione para cada capa. En el caso del gobierno es de especial importancia hacer estas estructuras para su responsabilidad fiscal (infraestructura, edificaciones gubernamentales y residenciales de población de niveles socioeconómicos de bajos ingresos). Ahora bien, cuando se desea explorar la posibilidad de establecer un seguro obligatorio como el TCIP de Turquía, o un seguro para tender emergencias como el CCRIF, es deseable diseñar una estructura de retención y transferencia incluyendo todos los activos tanto del sector público como del sector privado. Ambos casos se tratan aquí en esta sección.

5.1 ANÁLISIS POR CAPAS PARA EL PAÍS

El efecto de transferir el riesgo por capas genera cambios en el valor de la prima o primas por cada capa. Usualmente los análisis por capas se deben realizar cuando la transferencia del riesgo no se realiza en su totalidad; es decir hasta la pérdida definida para el período de retorno considerado como referente. En ese caso el tomador del riesgo debe cubrir a partir de la prioridad (o capa inferior de retención, si se ha definido) hasta un límite establecido. Esto significa que la prima que se debe pagar por parte del cedente al tomador se reduce, pero queda descubierta la parte de la pérdida por encima de dicho límite, que a su vez puede ser otra capa que debe negociarse o asumirse. Estas capas de pérdidas usualmente se pueden cubrir con reaseguros, con alternativas del mercado de capitales, a través de un bono de catástrofe, por ejemplo, o con otro tipo de instrumento de transferencia o financiación.

La Tabla 5.1 presenta los datos para el análisis por capas para el país por terremoto.

Tabla 5.1
Variación de la prima por capas para el país por terremoto

Capa	Porcentaje de la Pérdida Esperada	Limite de la Capa (\$ Millones)	Capa Superior (\$ Millones)	Prima de la Capa (\$ Millones)	Prima total de la Capa		Prima Capa Superior Faltante		Δ Prima (C-Ci-1)	
					(%)	Como % de la Prima Total	(%)	Como % de la Prima Total	(%)	Como % de la Prima Total
1	0.10%	\$ 79	\$ 79,068	\$ 72	0.91	66.8%	0.45	33.2%	0.91	66.83%
2	0.30%	\$ 237	\$ 78,909	\$ 82	1.04	76.5%	0.32	23.5%	0.13	9.70%
3	0.60%	\$ 475	\$ 78,672	\$ 89	1.13	83.4%	0.23	16.6%	0.09	6.84%
4	1.00%	\$ 791	\$ 78,355	\$ 95	1.20	88.5%	0.16	11.5%	0.07	5.11%
5	2.00%	\$ 1,583	\$ 77,564	\$ 102	1.29	94.8%	0.07	5.2%	0.09	6.28%
6	3.00%	\$ 2,374	\$ 76,772	\$ 104	1.32	97.3%	0.04	2.7%	0.03	2.54%
7	4.00%	\$ 3,166	\$ 75,981	\$ 106	1.34	98.6%	0.02	1.4%	0.02	1.28%
8	5.00%	\$ 3,957	\$ 75,189	\$ 107	1.35	99.2%	0.01	0.8%	0.01	0.66%
9	6.00%	\$ 4,749	\$ 74,398	\$ 107	1.35	99.6%	0.01	0.4%	0.01	0.39%
10	7.00%	\$ 5,540	\$ 73,606	\$ 107	1.35	99.8%	0.00	0.2%	0.00	0.14%
11	8.00%	\$ 6,332	\$ 72,815	\$ 107	1.35	99.9%	0.00	0.1%	0.00	0.13%
12	9.00%	\$ 7,123	\$ 72,024	\$ 107	1.36	99.9%	0.00	0.1%	0.00	0.03%
13	10.00%	\$ 7,915	\$ 71,232	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.03%
14	11.00%	\$ 8,706	\$ 70,441	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.02%
15	12.00%	\$ 9,498	\$ 69,649	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.01%
16	13.00%	\$ 10,289	\$ 68,858	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.01%
17	14.00%	\$ 11,081	\$ 68,066	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
18	15.00%	\$ 11,872	\$ 67,275	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
19	16.00%	\$ 12,663	\$ 66,483	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
20	17.00%	\$ 13,455	\$ 65,692	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
21	20.00%	\$ 15,829	\$ 63,317	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
22	25.00%	\$ 19,787	\$ 59,360	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
23	30.00%	\$ 23,744	\$ 55,403	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
24	35.00%	\$ 27,701	\$ 51,445	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
25	40.00%	\$ 31,659	\$ 47,488	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
26	45.00%	\$ 35,616	\$ 43,531	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
27	50.00%	\$ 39,573	\$ 39,573	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
28	60.00%	\$ 47,488	\$ 31,659	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
29	70.00%	\$ 55,403	\$ 23,744	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
30	80.00%	\$ 63,317	\$ 15,829	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
31	90.00%	\$ 71,232	\$ 7,915	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
32	100.00%	\$ 79,147	\$ -	\$ 107	1.36	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%

Para el análisis de los costos de las diferentes capas se definen dos parámetros básicos de acuerdo con lo siguiente:

Sean las siguientes variables:

y_D : Límite inferior de la capa

y_L : Límite superior de la capa

\bar{y} : prima total desde pérdida 0 hasta el valor asegurable total.

\bar{y}_r : prima a cobrar por proteger una capa localizada entre y_D y y_L .

Se definen:

Factor Z_R , como el cociente entre la prima de una capa determinada, \bar{y}_r , generalmente desde pérdida 0 hasta un valor dado de y_L y la prima total (del valor asegurable total) en porcentaje.

$$Z_R = \frac{\bar{y}_r}{\bar{y}}$$

ROL : “rate-on-line” como el cociente de la prima de la capa, \bar{y}_r y el valor total de la propia capa o sea $y_L - y_D$, así:

$$ROL = \frac{\bar{y}_r}{y_L - y_D}$$

Puede observarse que cuando $y_D=0$ y y_L es igual al valor total para el país, *ROL* no es más que la prima total expresada como una fracción del valor total de todo el país.

Las siguientes curvas presentan las variaciones del factor Z_R y del *ROL* definidos anteriormente con el límite superior de la pérdida, valor que puede llegar a ser igual al valor total expuesto en porcentaje.

La Figura 5.1 y Figura 5.2 ilustran el factor Z_R y el *ROL* para el país por terremoto.

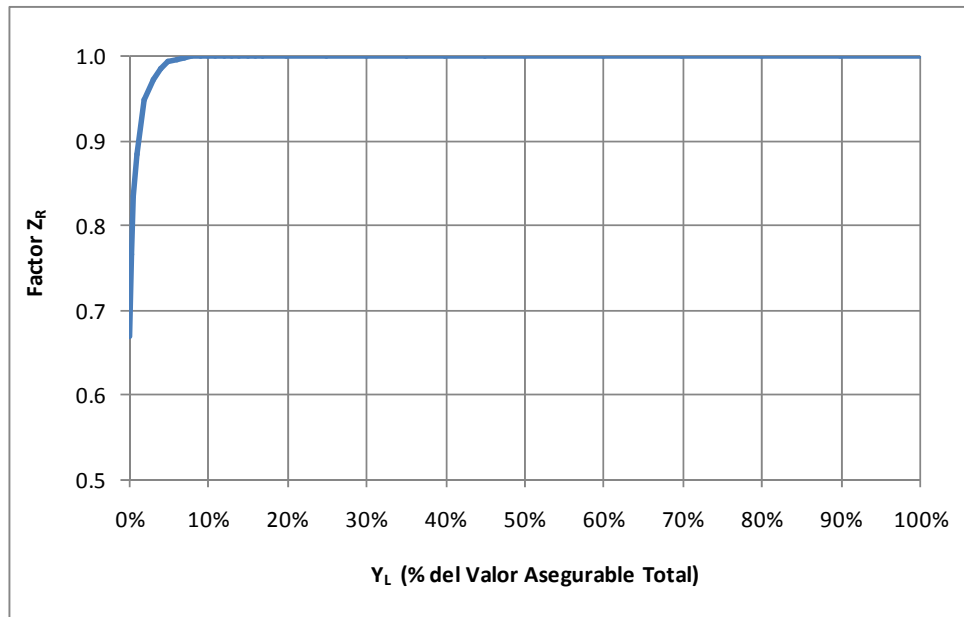


Figura 5.1
Variación de la prima por capas- Z_R para el país por terremoto

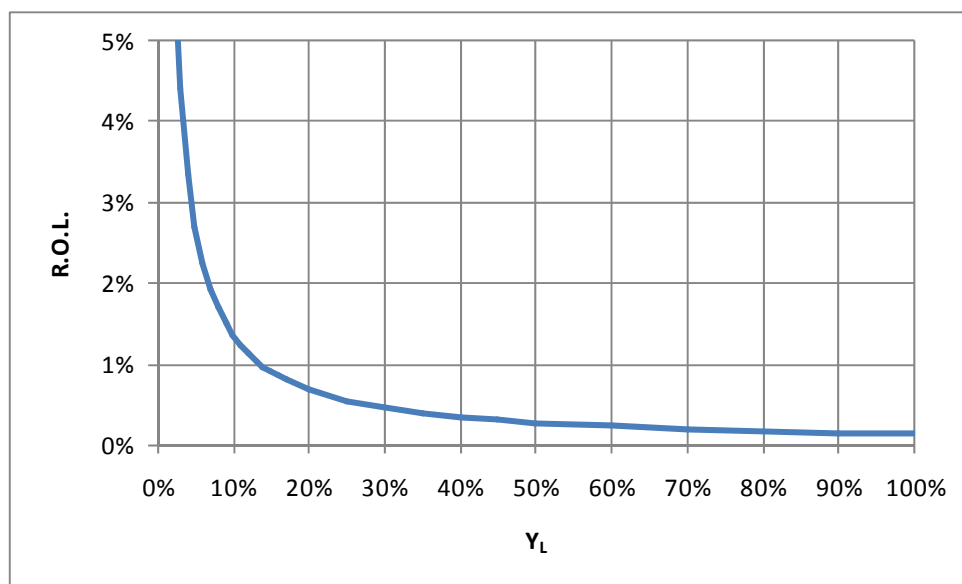


Figura 5.2
Variación de la prima por capas- ROL para el país por terremoto

Las figuras y la tabla anterior pueden utilizarse para estimar la prima de riesgo correspondiente a cualquier capa deseada. En particular, utilizando la Tabla 5.1 se pueden obtener las primas de riesgo de diferentes capas intermedias.

Para utilizar esta tabla es necesario definir el límite inferior de la capa (en términos de pérdida en porcentaje con respecto al valor asegurable, y_D) y el límite superior de responsabilidad (también en porcentaje del valor asegurable, y_L). Para estimar el valor de la prima correspondiente a la capa con pérdidas entre y_D y y_L se resta la prima que va desde 0 hasta y_D con la prima que va desde 0 hasta y_L . Esta tabla permite estimar cualquier capa y determinar la estructura más eficiente o deseable.

Teniendo en cuenta que el valor asegurable de los bienes del país es de US\$ 79,148 millones, el valor de la prima por terremoto de una capa desde un deducible del 0.3% (que equivale aproximadamente a US\$ 230 millones) hasta digamos el 3%, que corresponde a una pérdida de US\$ 2,370 millones (cercano al PML de 500 años de periodo de retorno que es del 3.1%) sería de 0.28‰. Es decir la resta entre una prima de 1.32‰, correspondiente al 3%, menos la prima para el 0.3% que es del 1.04‰. Esto en valor significa US\$ 104 millones menos US\$ 82 millones, es decir: US\$ 22 millones. Claramente, si se desea cubrir una capa menor, hasta un límite por ejemplo de US\$ 1,580 millones, que es un valor cercano al PML de 250 años de período de retorno, el valor de la prima por dicha capa a partir del deducible sería del 0.25‰ lo que equivale a US\$ 20 millones.

El riesgo financiero que se deriva de los posibles desastres futuros es alto para la sociedad en Bolivia, por esta razón es importante explorar la posibilidad de promover una estrategia de protección financiera tanto del sector público como del privado. Actualmente existen diferentes instrumentos o productos que han sido utilizados por diferentes países, incluidos

países en desarrollo. Al gobierno le conviene que cuando haya daños el sector privado pueda cubrir sus pérdidas, razón por la cual en algunos países se han promovido seguros colectivos voluntarios y obligatorios, por ejemplo de vivienda, con y sin la participación del Estado. Igualmente, se han identificado alternativas de protección financiera para los activos públicos y para cubrir los estratos socio-económicos de menores ingresos que finalmente son una responsabilidad fiscal debido a su incapacidad económica para contratar una cobertura de seguros.

5.2 ANÁLISIS POR CAPAS DE PÉRDIDA PARA LA RESPONSABILIDAD FISCAL

En la Tabla 5.2 se presenta la desagregación por sectores de los valores expuestos y resultados de riesgo para el portafolio de bienes de responsabilidad fiscal².

Tabla 5.2
Valores expuestos y de riesgo para la responsabilidad fiscal

Sector	Valor expuesto	Pérdida anual esperada	
	US\$ x 10 ⁶	US\$ x 10 ⁶	‰
Construcciones ResPB+ResPM	\$ 9,680	\$ 26.3	2.7 ‰
Construcciones Publicas	\$ 4,672	\$ 7.9	1.7 ‰
Infraestructura Urbana	\$ 3,215	\$ 2.8	0.9 ‰
Infraestructura Nacional	\$ 41,933	\$ 35.8	0.9 ‰
Total Fiscal	\$ 59,500	\$ 72.8	1.2 ‰

El Gobierno además de su rol de tomador de decisiones y regulador, es también en todos los niveles un propietario importante de bienes. Debe manejar sus riesgos no sólo mediante la aplicación de medidas de prevención sino, también, mediante la transferencia del riesgo y su retención. Soporta, también, algunos de los riesgos asociados con el daño a la propiedad privada, a través del papel que asume de financiar la recuperación post-evento de los propietarios de bajos ingresos que no pueden pagar una cobertura de seguros.

Por esta razón la reducción de la vulnerabilidad fiscal debe incluir: La cuantificación del riesgo financiero del Estado y evaluar su incidencia en las finanzas públicas; construir una estrategia para la cobertura financiera de los riesgos del Estado; y con técnicas avanzadas de evaluación de pérdidas estudiar alternativas de retención y transferencia

La Tabla 5.3 presenta los datos para el análisis por capas para la responsabilidad fiscal por terremoto.

² En el caso de Bolivia para el portafolio de bienes de responsabilidad fiscal además de los bienes residenciales (ResPB) de la población de nivel socio-económico bajo se han tomado los bienes de la población de nivel socio-económico medio (ResPM) debido los bajos ingresos en general y percapita de la población boliviana.

Tabla 5.3
Variación de la prima por capas para la responsabilidad fiscal por terremoto

Capa	Porcentaje de la Pérdida Esperada	Limite de la Capa (\$ Millones)	Capa Superior (\$ Millones)	Prima de la Capa (\$ Millones)	Prima total de la Capa		Prima Capa Superior Faltante		Δ Prima (C-Ci-1)	
					(%)	Como % de la Prima Total	(%)	Como % de la Prima Total	(%)	Como % de la Prima Total
1	0.10%	\$ 60	\$ 59,441	\$ 52	0.87	76.3%	0.27	23.7%	0.87	76.26%
2	0.30%	\$ 179	\$ 59,322	\$ 57	0.96	84.3%	0.18	15.7%	0.09	8.03%
3	0.60%	\$ 357	\$ 59,143	\$ 61	1.02	89.7%	0.12	10.3%	0.06	5.38%
4	1.00%	\$ 595	\$ 58,905	\$ 63	1.06	93.5%	0.07	6.5%	0.04	3.82%
5	2.00%	\$ 1,190	\$ 58,310	\$ 66	1.11	97.5%	0.03	2.5%	0.05	4.01%
6	3.00%	\$ 1,785	\$ 57,715	\$ 67	1.13	99.0%	0.01	1.0%	0.02	1.51%
7	4.00%	\$ 2,380	\$ 57,120	\$ 67	1.13	99.6%	0.00	0.4%	0.01	0.57%
8	5.00%	\$ 2,975	\$ 56,525	\$ 68	1.13	99.8%	0.00	0.2%	0.00	0.23%
9	6.00%	\$ 3,570	\$ 55,930	\$ 68	1.14	99.9%	0.00	0.1%	0.00	0.10%
10	7.00%	\$ 4,165	\$ 55,335	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.06%
11	8.00%	\$ 4,760	\$ 54,740	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.01%
12	9.00%	\$ 5,355	\$ 54,145	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.01%
13	10.00%	\$ 5,950	\$ 53,550	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
14	11.00%	\$ 6,545	\$ 52,955	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
15	12.00%	\$ 7,140	\$ 52,360	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
16	13.00%	\$ 7,735	\$ 51,765	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
17	14.00%	\$ 8,330	\$ 51,170	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
18	15.00%	\$ 8,925	\$ 50,575	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
19	16.00%	\$ 9,520	\$ 49,980	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
20	17.00%	\$ 10,115	\$ 49,385	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
21	20.00%	\$ 11,900	\$ 47,600	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
22	25.00%	\$ 14,875	\$ 44,625	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
23	30.00%	\$ 17,850	\$ 41,650	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
24	35.00%	\$ 20,825	\$ 38,675	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
25	40.00%	\$ 23,800	\$ 35,700	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
26	45.00%	\$ 26,775	\$ 32,725	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
27	50.00%	\$ 29,750	\$ 29,750	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
28	60.00%	\$ 35,700	\$ 23,800	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
29	70.00%	\$ 41,650	\$ 17,850	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
30	80.00%	\$ 47,600	\$ 11,900	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
31	90.00%	\$ 53,550	\$ 5,950	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%
32	100.00%	\$ 59,500	\$ -	\$ 68	1.14	100.0%	0.00	0.0%	0.00	0.00%

Las siguientes curvas presentan las variaciones del factor Z_R y del ROL definidos anteriormente con el límite superior de la pérdida, valor que puede llegar a ser igual al valor total expuesto en porcentaje.

La Figura 5.3 y Figura 5.4 ilustran el factor Z_R y el ROL para la responsabilidad fiscal por terremoto.

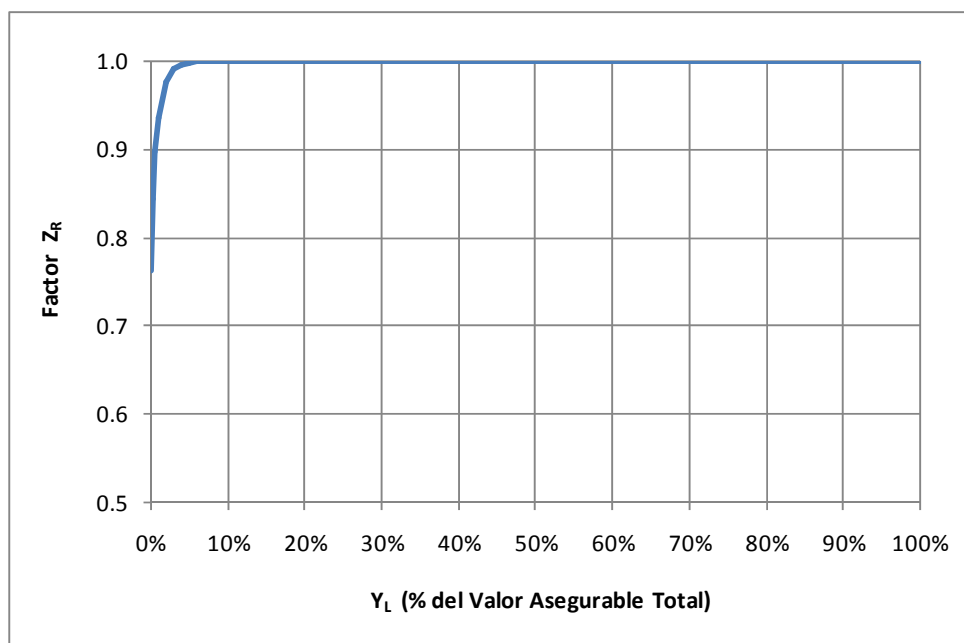


Figura 5.3

Variación de la prima por capas- Z_R para la responsabilidad fiscal por terremoto

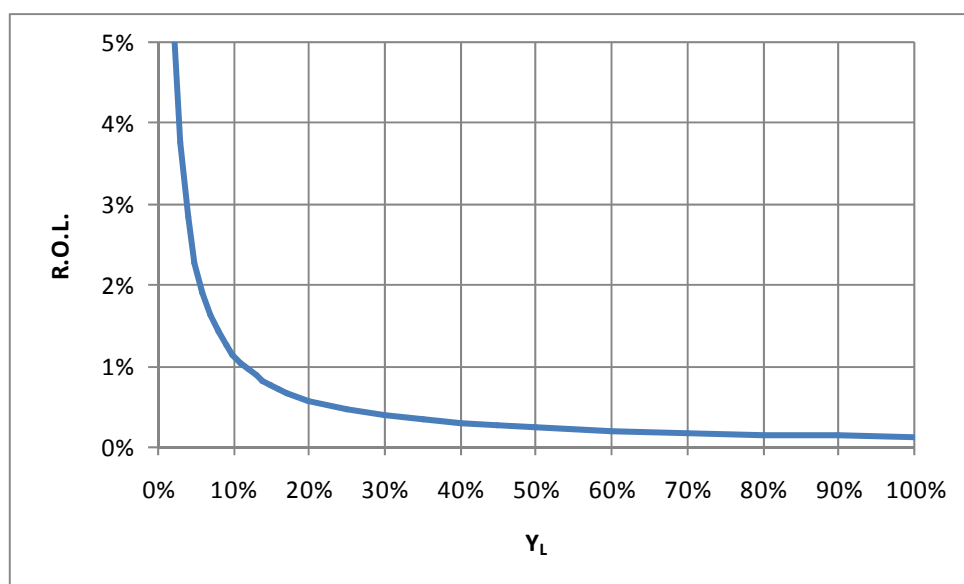


Figura 5.4

Variación de la prima por capas- ROL para la responsabilidad fiscal por terremoto

Las figuras y la tabla anterior pueden utilizarse para estimar la prima de riesgo correspondiente a cualquier capa deseada. En particular, utilizando la Tabla 5.3 se pueden obtener las primas de riesgo de diferentes capas intermedias.

Teniendo en cuenta que el valor asegurable de los bienes es de US\$ 59,500 millones, el valor de la prima de terremoto de una capa de la responsabilidad fiscal desde un deducible del 0.3% (que equivale a US\$ 180 millones) hasta digamos el 3%, que corresponde a una pérdida de US\$ 1,7800 millones (cercano al PML de 500 años de periodo de retorno que es del 3.1%) sería de 0.17‰. Es decir la resta entre una prima de 1.13‰, correspondiente al 3%, menos la prima para el 0.3% que es del 0.96‰. Esto en valor significa US\$ 67 millones menos US\$ 57 millones, es decir: US\$ 10 millones. Claramente, si se desea cubrir una capa menor, hasta un límite por ejemplo de US\$ 1,190 millones, que es un valor cercano al PML de 250 años de período de retorno, el valor de la prima por dicha capa a partir del deducible sería del 0.15‰ lo que equivale a US\$ 9 millones.

En resumen, este enfoque permite la construcción de una estructura de financiación del riesgo con diferentes alternativas de retención y transferencia de riesgos para el país. Las primas de cada capa de pérdida son la base para estimar el costo financiero de la capa de cobertura y es posible explorar la estructura óptima de financiación de riesgo teniendo en cuenta, por ejemplo, auto-seguros, fondos de reserva, créditos contingentes, reasignación de presupuesto, cautivas, seguros/reaseguros estándar o paramétricos, bonos de catástrofe, préstamos internacionales, impuestos, etc. El uso de uno u otro conduce a la discusión acerca la gobernabilidad del riesgo, los niveles de riesgo tolerable y las compensaciones de costo/beneficio que se derivan de la búsqueda de valor óptimo de protección financiera.

6 ÍNDICES DE DEFICIT POR DESASTRE

Indicadores de riesgo de desastre y vulnerabilidad así como puntos de referencia del desempeño de la gestión del riesgo son necesarios para que los tomadores de decisiones puedan tener acceso a información relevante y puedan así identificar o proponer políticas y acciones factibles. El Sistema de Indicadores de Riesgo de Desastre y Gestión del Riesgo para las Américas (BID-IDEA) fue propuesto para atender esta necesidad y para representar el riesgo a escala nacional, facilitando la identificación de aspectos esenciales que lo caracterizan, desde una perspectiva económica y social. Su uso también hace posible la evaluación del desempeño de la gestión del riesgo con el fin de establecer objetivos que mejoren la efectividad de la gestión. Cuatro grupos de indicadores compuestos han sido diseñados para representar los principales elementos de la vulnerabilidad e ilustrar el progreso de cada país en gestión de riesgos. Uno de estos indicadores, relacionado con el impacto macroeconómico potencial, el *Índice de Déficit de Desastres* (IDD), ha sido útil para dar cuenta de la vulnerabilidad fiscal de un país en relación con el riesgo de desastre. Estos indicadores fueron desarrollados en 2005 por el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia, en Manizales, y han sido actualizados en 2009 para la mayoría de los países de la región, para el BID, por este consorcio de consultores (ERN – América Latina), en el marco de su plan de acción y su nueva política de gestión del riesgo de desastres. Los informes del programa, detalles técnicos y resultados de aplicación para los países de las Américas se pueden consultar en la siguiente página web: <http://idea.unalmzl.edu.co>.

El IDD refleja el riesgo del país desde una perspectiva macroeconómica y financiera ante eventos catastróficos probables para lo cual es necesario estimar la situación de impacto más crítica en un tiempo de exposición y la capacidad financiera del país para hacer frente a dicha situación. Este índice mide la pérdida económica que un país en particular puede sufrir cuando un evento catastrófico tiene lugar, y las implicaciones en términos de los recursos necesarios para enfrentar la situación. La construcción del IDD requiere realizar un pronóstico de las pérdidas potenciales, como el PML y la AAL calculadas en este informe, basado en evidencias históricas y científicas. Hay dos tipos de IDD relevantes para este informe.

El primero, el IDD_{EMC} , que captura la relación entre la demanda de fondos económicos contingentes para cubrir la responsabilidad fiscal o pérdidas potenciales que debe asumir el sector público a causa de un Evento Máximo Considerado (EMC) –que puede ser el PML–, y la resiliencia económica que presente de dicho sector; es decir, la disponibilidad o acceso a fondos internos y externos del país para restituir el inventario afectado.

Esta capacidad financiera del país para enfrentar la situación tiene en cuenta: *el pago de seguros y reaseguros* que aproximadamente recibiría el país por los bienes y la

infraestructura asegurada del gobierno; las *reservas disponibles en fondos para desastres* con los que cuenta el país en el año de la evaluación, los valores que pueden recibirse como *ayudas y donaciones*, tanto públicas como privadas, nacionales como internacionales; el valor posible de *nuevos impuestos* que cada país podría recaudar adicionalmente en caso de un desastre mayor; el *margen de reasignación presupuestal* del país, que usualmente corresponde al margen de gastos discrecionales del gobierno; valor factible de *crédito externo* que puede obtener el país con los organismos multilaterales y en el mercado de capitales en el exterior; y el *crédito interno* que puede obtener el país con los bancos comerciales y en algunos casos con el banco central.

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

Un IDD_{EMC} mayor que 1.0 refleja la incapacidad económica del país para hacer frente a desastres extremos aún cuando aumente al máximo su deuda. A mayor IDD_{EMC} mayor será el rango entre las pérdidas y la capacidad del país para enfrentarlos. Si existen restricciones para el endeudamiento adicional, esta situación implicaría la imposibilidad para recuperarse. La Figura 6.1 ilustra un esquema de la forma como se calcula el IDD_{EMC} .

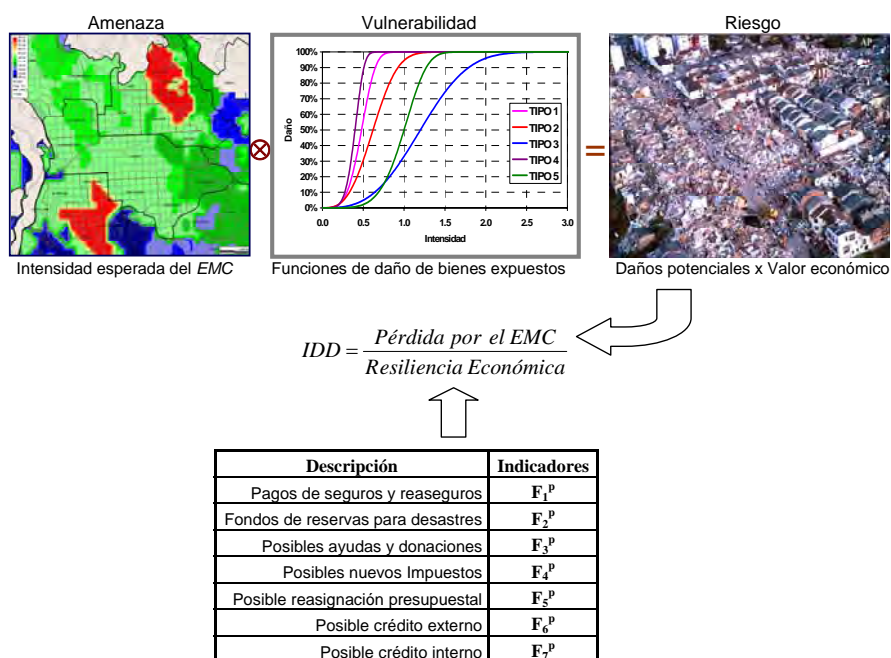


Figura 6.1
Descripción esquemática del cálculo del IDD_{EMC}

El segundo, el IDD_{GC} , que captura la porción de los Gastos de Capital (GC) del país que corresponde la pérdida anual esperada o prima pura de riesgo; es decir la AAL. Es decir qué porcentaje de la inversión sería el pago anual por desastres futuros. En este caso el valor de la prima pura es equivalente a la inversión o ahorro promedio anual que tendría que hacer el país para cubrir aproximadamente sus pérdidas por desastres futuros. En caso de que las pérdidas anuales representen una fracción significativa de la inversión de capital del país se prevé que con el tiempo habría un déficit por desastres que implicarían el inevitable aumento de la deuda. Es decir, que el país no cuenta con suficientes recursos para atender futuros desastres. En caso de que existan restricciones para el endeudamiento adicional implicaría la imposibilidad de recuperarse.

Para la evaluación de estos índices es necesario evaluar las posibles pérdidas económicas en el país debido a fenómenos naturales utilizando un método simplificado para el dimensionamiento del inventario de los activos expuestos con base en valores *proxy* validados por las instituciones y consultores locales en cada país. Básicamente, un conjunto de parámetros se estiman utilizando el costo por metro cuadrado de los tipos de construcciones, el número de metros cuadrados construidos en cada una de las principales ciudades en relación con el número de habitantes y la distribución de las áreas construidas de los portafolios de edificios públicos y privados; inventario de activos que, en caso de desastre, sería una responsabilidad fiscal.

Usando el *proxy* de exposición desarrollado en esta evaluación de riesgo específico de país que ha sido hecho y validado con base en pruebas aleatorias, los índices han sido evaluados utilizando el PML y la AAL para la responsabilidad fiscal para terremoto. La Figura 6.2 presenta los resultados del IDD_{GC} y el IDD_{EMC} para diferentes períodos de retorno.

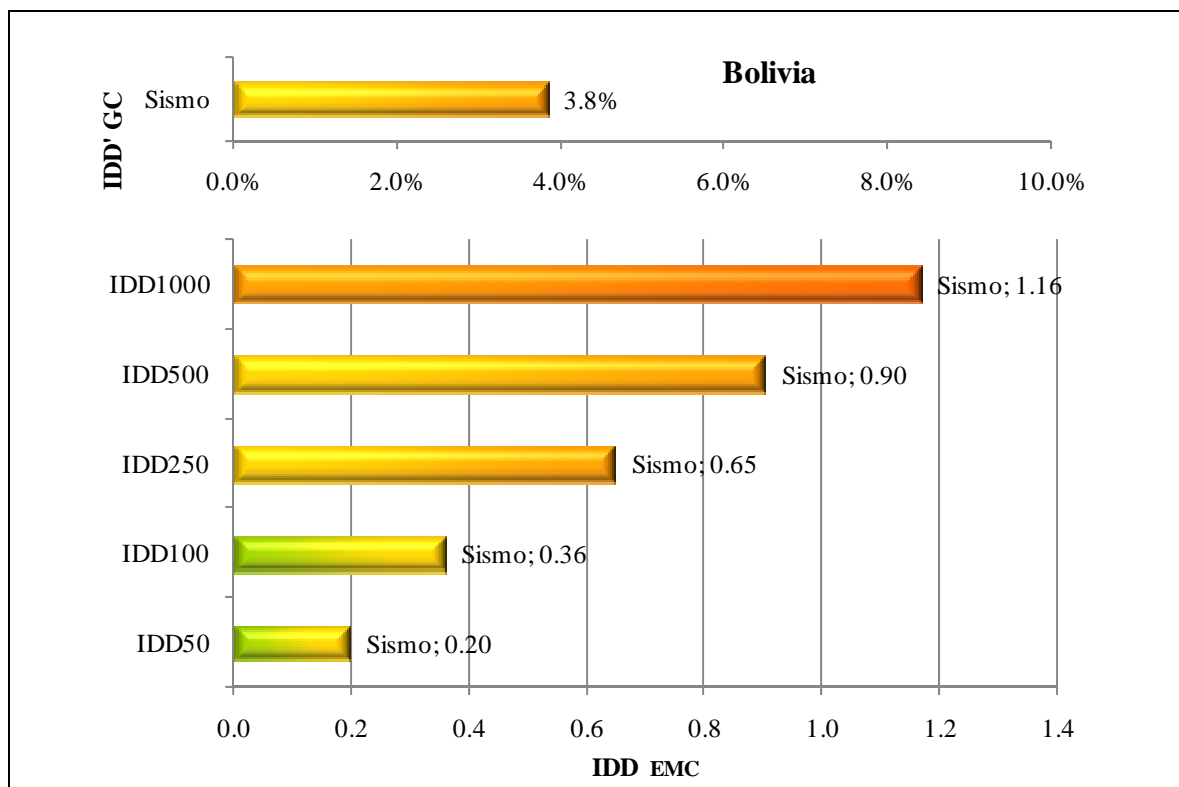


Figura 6.2
Resultados del IDD_{GC} y del IDD_{EMC} para diferentes períodos de retorno

Este es un método aproximado como el original, sin embargo es más exacto debido a los mayores detalles del proxy de la exposición y del tipo de supuestos realizados para reflejar los efectos físicos directos. Estos índices son menores que los calculados por el método original, principalmente porque este último es más conservador y de grano grueso, y ha sido calibrado para incluir los daños no estructurales y los efectos económicos indirectos. En cualquier caso, ambos métodos permiten a los funcionarios gubernamentales usar el modelo con un relativamente menor esfuerzo y sin tener la necesidad de tener datos catastrales muy detallados.

En resumen, cada IDD da una idea interesante y útil, para un Ministerio de Finanzas y de Economía, del problema potencial de sostenibilidad financiera para el país que pueden significar los desastres. Por otro lado, dan una imagen compacta de la vulnerabilidad fiscal del país a causa desastres.

Estos indicadores permiten dimensionar de una manera sencilla la exposición fiscal y el déficit potencial (o pasivos contingentes) del país a causa de desastres extremos. Permiten a los tomadores de decisiones del nivel nacional tener una dimensión del problema presupuestal que tendría el país y la necesidad de considerar este tipo de cifras en la planificación financiera. Estos resultados ratifican la necesidad de identificar y proponer

posibles políticas y acciones efectivas como la protección de los recursos del gobierno mediante el uso de seguros y reaseguros (mecanismos de transferencia) o establecer fondos de reservas con base en criterios adecuados de retención de pérdidas. Otras acciones incluyen contratación de créditos contingentes y, en particular, la necesidad de invertir en medidas estructurales y no estructurales de prevención y mitigación para reducir los daños y pérdidas y de esta forma el impacto económico futuro de los desastres.

No sobra señalar que el cálculo de los IDD usando los resultados de este estudio de riesgo es más refinado que el obtenido en el marco del programa de indicadores de riesgo y gestión de riesgo para las Américas. Aunque el conceptualmente los métodos son similares, la modelación realizada en este estudio es menos *coarse grain* que la que se realiza en el marco del programa de indicadores. Diferencias en las pérdidas máxima probables pueden ser de dos o tres veces debido a que el modelo del programa de indicadores es más aproximado, conservador y en general considera el impacto indirecto; es decir, pérdidas consecuenciales e indirectas. El modelo aquí aplicado es de mayor resolución y los datos que se le han incluido han sido utilizados para determinar sólo daños físicos directos.

7 REFERENCIAS

- ◇ Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Plataforma para la Evaluación Probabilista de Riesgo CAPRA-GIS. <http://www.ecapra.org>. 2009.
- ◇ Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. ERN-Vulnerabilidad V1.0. 2009.
- ◇ IDEA. Sistema de indicadores para la gestión del riesgo de desastre: Informe técnico principal. Programa BID/IDEA de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. En: <http://idea.unalmzl.edu.co>. 2005.

ANEXO 1. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DISPONIBLE

División administrativa

- BOL0.shp: contiene el límite fronterizo nacional.
- BOL1.shp: contiene la división departamental y nombre respectivo a nivel nacional.
- BOL2.shp: contiene la división provincial con el nombre y departamento al que pertenece.

Infraestructura

- BOL_roads.shp: contiene las vías y la clasificación según tipo y categoría de importancia a nivel nacional.
- BOL_rails.shp: contiene las líneas ferroviarias existentes y el estado de operatividad.

Accidentes geográficos

- BOL_water_areas_dcw.shp: contiene lagos y lagunas con nombre respectivo.
- BOL_water_lines_dcw.shp: contiene los ríos con el nombre respectivo.

ANEXO 2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS

Glosario de términos

ResPB	Edificaciones de uso residencial de nivel socio-económico bajo
ResPM	Edificaciones de uso residencial de nivel socio-económico medio
ResPA	Edificaciones de uso residencial de nivel socio-económico alto
Com	Edificaciones de uso comercial
Ind	Edificaciones de uso industrial
SalPri	Edificaciones privadas para la salud
EduPri	Edificaciones privadas para la educación
SalPub	Edificaciones públicas para la salud
EduPub	Edificaciones públicas para la educación
Gob	Edificaciones de uso gubernamental

1 ÁREA CONSTRUIDA POR GRUPO DE USO

1.1 Indicadores Generales

En la Tabla A. 2-1, se muestran los valores supuestos para los indicadores de área construida por habitante para cada nivel de complejidad y tipo de uso.

Tabla A. 2-1
Índice de área construida por habitante (m²/Hab)

Nivel de Complejidad	Uso [V 7]									
	ResPB m ² /HabPB	ResPM m ² /HabPM	ResPA m ² /HabPA	Com m ² /FL	Ind m ² /FL	SalPri m ² /camas	EduPri m ² /Est	SalPub m ² /camas	EduPub m ² /Est	Gob m ² /EP
Alto	5	15	25	20	50	10	12	8	10	5
Medio	4	12	22	20	50	8	10	6	8	5
Bajo	3	11	20	20	50	6	8	4	6	5

La Tabla A. 2-2 muestra el porcentaje de educación y salud pública para cada nivel de complejidad

Tabla A. 2-2
Porcentaje de educación y salud pública

Nivel de Complejidad	Educación Pública	Salud Pública
	(%)	(%)
Alto	89%	64%
Medio	97%	88%
Bajo	98%	84%

Para el cálculo del área construida en el grupo de uso, se procedió primero a dividirla en tres categorías: Res PB, que es la categoría donde se tiene a la población con capacidad económica baja; Res PM, con la población con capacidad económica media y Res PA, con la población con capacidad económica alta.

1.2 Construcciones Residenciales

Para calcular el área construida residencial de cada provincia, se hace inicialmente un supuesto de área construida promedio que necesita una persona para vivir, dependiendo del nivel de complejidad que tenga la provincia y de la categoría que se esté analizando Res PB, Res PM o Res PA (Ver Tabla A. 2-1). Adicionalmente para cada nivel de complejidad se toma el porcentaje correspondiente a la población PB, que es la población con capacidad económica baja, a la población PM, que es la población con capacidad económica media y a la población PA que es la población con capacidad económica alta. Con lo anterior y con la población de cada provincia se calcula el área construida de la siguiente manera:

$$Area (m^2) = PM [Hab] * MP \left[\frac{m^2}{Hab} \right] * PCE [\%]$$

Donde:

- Área*: área construida residencial
- PM*: población de cada provincia
- MP*: índice de área construida promedio en el sector residencial por habitante teniendo en cuenta la categoría que se está analizando y el nivel de complejidad de la provincia.
- PCE*: porcentaje de la población para cada una de las capacidades económicas y depende del nivel de complejidad de cada provincia.

1.3 Construcciones Comerciales

Para calcular el área construida de construcciones comerciales se tomaran los índices de ocupación que se indican en la Tabla A. 2-1 y con la información de la población empleada en el área de servicios, se puede estimar el área construida de la siguiente manera:

$$Acom(m^2) = CTC * MC \left[\frac{m^2}{T} \right]$$

Donde:

- Acom*: área construida en el sector comercial
- CTC*: total de trabajadores del área de servicios de cada provincia
- MC*: índice de área construida promedio por trabajador en el sector comercial (ver Tabla A. 2-1).
- T*: Trabajador

1.4 Construcciones Industriales

Para calculara el área de construcción en el sector industrial se sigue una metodología similar a la anterior, para lo cual se usa la siguiente ecuación:

$$Aind(m^2) = CTI * MI \left[\frac{m^2}{T} \right]$$

Donde: *Aind*: área construida en el sector industrial
CTI: total de trabajadores del área de industria de cada provincia
MI: índice de área construida promedio por trabajador en el sector industrial (ver Tabla A. 2-1).
T: Trabajador

1.5 Construcciones del Área de Educación (Privada Y Pública)

Para el cálculo del área construida para educación, se supone el área construida promedio por estudiante en un centro educativo, valor que depende del nivel de complejidad de cada provincia y si la entidad es pública o privada (Ver Tabla A. 2-1), por otro lado se tiene el porcentaje que por cada nivel de complejidad tiene la educación pública (ver Tabla A. 2-2), con lo cual se puede estimar el área construida en el sector educación con la siguiente fórmula:

$$Aedu(m^2) = CE[Est] * ME \left[\frac{m^2}{Est} \right] * PEP[\%]$$

Donde: *Aedu*: área construida en el sector educación
CE: cantidad de estudiantes de cada provincia
ME: índice de área construida promedio por estudiante teniendo en cuenta el nivel de complejidad de cada provincia.
PEP: porcentaje de estudiantes que hacen parte de la educación pública, y que depende del nivel de complejidad de cada provincia (ver Tabla A. 2-2).

Para educación privada se reemplaza el PEP por (1-PEP).

1.6 Construcciones del Área de Salud (Privada y Pública)

Para el cálculo del área construida para salud, se hace un supuesto de la cantidad de m^2 que utiliza una cama hospitalaria, valor que depende del nivel de complejidad de cada provincia y de si la entidad es pública o privada (Ver Tabla A. 2-1). Como se tiene la cantidad de camas que tiene cada provincia y cuántas de estas son públicas, se calcula el porcentaje de salud pública para cada nivel de complejidad (ver Tabla A. 2-2). Con lo anterior se calcula el área construida de la siguiente forma:

$$Asal(m^2) = PM[Hab] * CH[Und / Hab] * MS \left[\frac{m^2}{Und} \right] * PSP[\%]$$

Donde:

- Asal*: área construida en el sector salud
- PM*: población de cada provincia
- CH*: número de camas por habitante
- MS*: área construida promedio que ocupa una cama, teniendo en cuenta el nivel de complejidad de cada provincia
- PSP*: porcentaje de la salud pública que depende del nivel de complejidad de cada provincia.

Para salud privada se reemplaza el PSP por (1-PSP).

1.7 Construcciones del Sector Gobierno

Para calcular el área construida para gobierno se asume el índice de ocupación para un trabajador que se indica en la Tabla A. 2-1. Utilizando adicionalmente cantidad de empleados del gobierno que tiene cada provincia, se calcula el área construida con la siguiente ecuación:

$$Agob(m^2) = CEG[EG] * MG \left[\frac{m^2}{EG} \right]$$

Donde:

- Agob*: área construida en el sector de gobierno
- CEG*: cantidad de empleados del gobierno de cada provincia.
- MG*: área construida promedio por trabajador del gobierno.
- EG*: empleado del gobierno.

2 VALOR EXPUESTO POR GRUPO DE USO

Para el cálculo del valor expuesto, se toma como base y supuesto principal el valor del salario mínimo del país en US\$ como el valor por m² de construcción para el uso Res PB de nivel de complejidad alto, de igual manera para el el nivel de complejidad medio el valor por m² se adopta como el 70% del nivel de complejidad alto y por último para el nivel de complejidad bajo se toma como el 50% del mismo (ver Tabla A. 2-3), el valor por m² para los demás usos serían:

Res PM	=	2 * Res PB	SalPub	=	0.8 * SalPri
Res PA	=	3 * Res PB	EduPri	=	Res PM
Com	=	Res PM	EduPub	=	EduPri
Ind	=	Res PA	Gob	=	Res PM
SalPri	=	Res PA			

Tabla A. 2-3
Índice de Valor expuesto por área construida (USD\$/m²)

Nivel de Complejidad	Uso (US\$/m ²)									
	ResPB	ResPM	ResPA	Com	Ind	SalPri	EduPri	SalPub	EduPub	Gob
Alto	90	225	360	225	360	360	225	288	225	225
Medio	63	158	252	158	252	252	158	202	158	158
Bajo	45	113	180	113	180	180	113	144	113	113

Después de tener el valor de cada m², el procedimiento para saber el valor expuesto de cada uso, sería:

$$V_{uso}(US\$) = CM[m^2] * IVE \left[\frac{US\$}{m^2} \right]$$

Donde:

- V_{uso}*: valor expuesto de cada uso
- CM*: cantidad de área construida para cada uso y para cada provincia.
- IVE*: índice de valor expuesto para cada uso y dependiendo del nivel de complejidad de cada provincia (ver Tabla A. 2-3)

3 OCUPACIÓN DE CONSTRUCCIONES

Se hace un supuesto de la cantidad de habitantes que hay por cada 100 m², este supuesto depende del uso que se esté analizando y del nivel de complejidad de la provincia, también se supone un porcentaje de ocupación de cada uso y para cada escenario (día o noche), la Tabla A. 2-4 muestra dicha información,

Tabla A. 2-4
Índice de ocupación por área construida (Hab/m²) para escenarios de ocupación dados

Nivel de Complejidad	Uso (Hab/100m ²)									
	ResPB	ResPM	ResPA	Com	Ind	SalPri	EduPri	SalPub	EduPub	Gob
Alto	10.0	12.0	10.0	6.0	3.0	20.0	18.0	20.0	18.0	30.0
Medio	9.0	11.0	9.0	5.0	2.0	15.0	13.0	15.0	13.0	25.0
Bajo	8.0	10.0	8.0	4.0	1.0	10.0	8.0	10.0	8.0	20.0
Escenario día	47%	47%	47%	90%	90%	100%	80%	100%	80%	80%
Escenario noche	100%	100%	100%	30%	50%	100%	0%	100%	0%	0%

Los anteriores indicadores de ocupación obedecen tanto a la cantidad de m² estimados anteriormente por medio de la metodología presentada y a la cantidad de población asignada a cada uno de los sectores de uso. De esta manera cada uno de los indicadores presentados en esta tabla fue sujeto de ajustes para alcanzar la población total. De manera similar la población asignada para cada uno de los escenarios obedece tanto a la fuerza laboral presente en el país como al número de estudiantes, empleador públicos y de salud.

Con estos supuestos y sabiendo el área construida de cada provincia se calcula la ocupación de la siguiente manera:

$$Ouso(Hab) = CM[m^2] * IH\left[\frac{Hab}{100m^2}\right] * PO[\%]$$

Donde:

- Ouso*: cantidad de personas ocupando un uso
- CM*: cantidad de área construida para cada uso y para cada provincia.
- IH*: índice de ocupación para cada uso y dependiendo del nivel de complejidad de cada provincia (ver Tabla A. 2-4)
- PO*: porcentaje de ocupación de cada uso y para cada escenario (día o noche).

ANEXO 3. PROXY DE VALORES DE EXPOSICIÓN

Se anexa a este informe una hoja de cálculo electrónico en Microsoft Excel, en donde se encuentra el proxy utilizado para la estimación del riesgo.

ANEXO 4. MODELO DE CÁLCULO DE LA AMENAZA SÍSMICA

1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

En general, la amenaza sísmica de una zona determinada depende de un gran número de variables, para lo cual se han desarrollado modelos analíticos que permiten darle un tratamiento técnico y científico al problema. Las bases teóricas y conceptuales de la metodología de cálculo de amenaza sísmica pueden consultarse en detalle en el sitio web www.ecapra.org. El cálculo de la amenaza sísmica se hace empleando el sistema CRISIS2007 (Ordaz *et al* 2007).

La Figura A. 4-1 presenta un diagrama de flujo con los principales elementos del modelo de amenaza sísmica aplicado. Los pasos principales de la metodología utilizada son los siguientes:

- (1) *Definición y caracterización de las fuentes sismogénicas principales:* a partir de la información geológica y neotectónica recolectada, así como estudios previos, se definen geométricamente las principales fuentes sismogénicas.
- (2) *Asignación de parámetros de sismicidad a las diferentes fuentes sísmicas:* con base en el catálogo sísmico histórico, y estudios previos realizados, se asignan los parámetros de sismicidad a cada fuente sismogénica identificada, siguiendo un modelo de recurrencia de Poisson.
- (3) *Generación de un conjunto de eventos estocásticos compatible con la distribución de ubicación, profundidad, frecuencias y magnitudes:* a partir de toda la información anterior, se genera un conjunto de eventos sísmicos posibles por medio de un muestreo basado en división recursiva de la geometría de las fuentes, y asignación de parámetros de sismicidad a cada segmento de manera ponderada según su aporte de área en el área total. Para cada segmento se generan una serie de escenarios cuya magnitud es función de la curva de recurrencia de magnitudes específica de cada fuente.
- (4) *Modelo de atenuación de parámetros de movimiento del terreno:* las funciones de atenuación establecen la relación que existe entre la intensidad sísmica en un punto cualquiera y la distancia hipocentral, para sismos de determinada magnitud. Con base en información recolectada, estudios previos y el estado del arte actual en funciones de atenuación espectrales, se definen las funciones de atenuación a nivel país que permitan establecer los niveles de amenaza apropiados. Estos resultados se calibran, en la medida que la información existente lo permita, con lo reportado en estudios previos realizados por instituciones oficiales para el manejo de estos temas en el país.

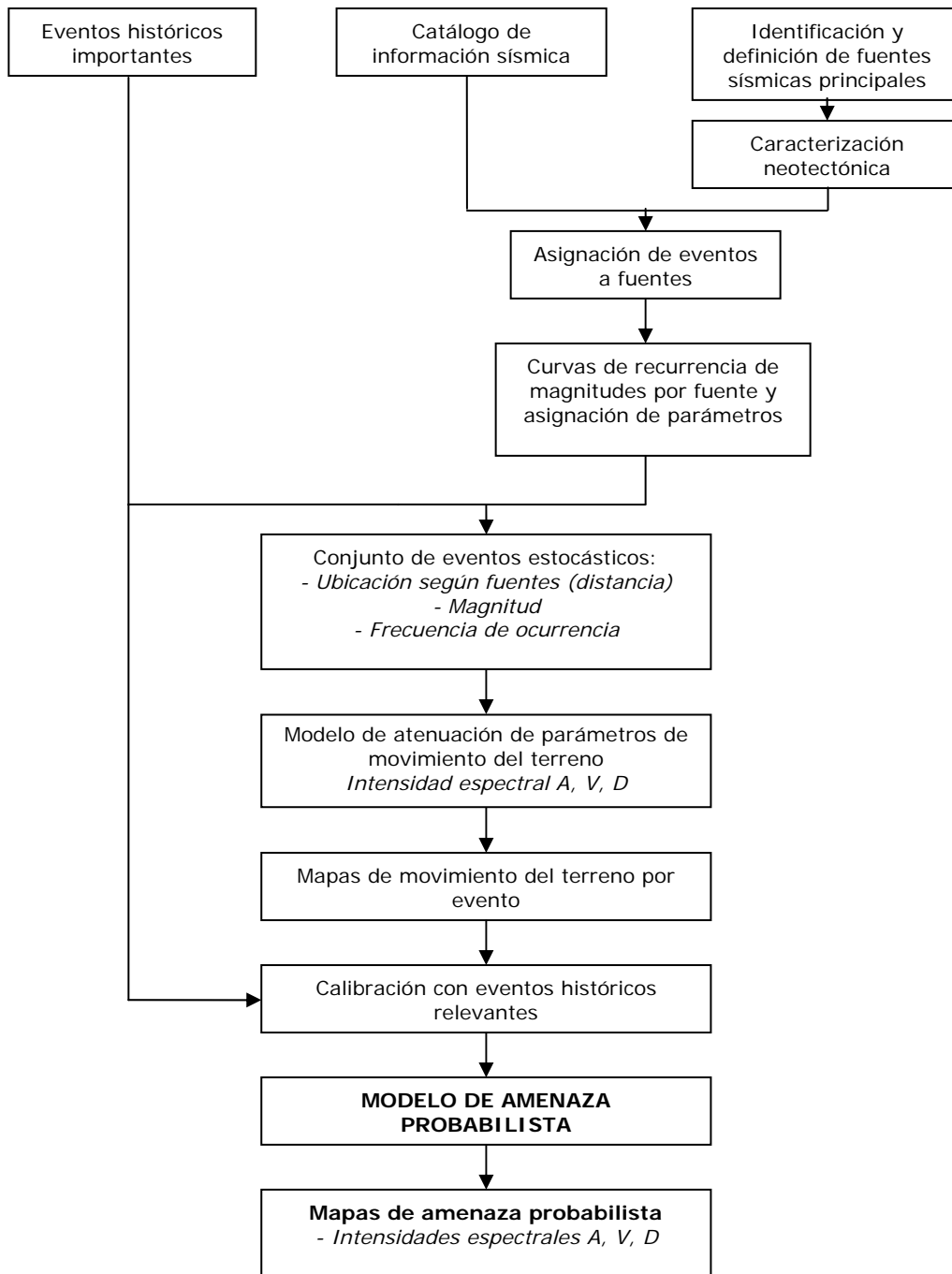


Figura A. 4-1
Diagrama de flujo del modelo de amenaza sísmica

- (5) *Generación de mapas de amenaza de eventos representativos:* se obtienen mapas de distribución espacial de intensidad de aceleración, velocidad y desplazamiento, máximas y espectrales, por medio del modelo de atenuación adoptado.

- (6) *Aplicación del modelo de amenaza sísmica probabilista*: mediante la integración probabilista de las intensidades para cada evento estocástico generado, se obtienen mapas de amenaza sísmica para diferentes parámetros de intensidad. Estos se definen para diferentes periodos de retorno de análisis.
- (7) *Parámetros de movimiento del terreno*: los principales parámetros de movimiento del terreno que mejor representan los eventuales daños en obras de infraestructura son los siguientes:
- Aceleración, velocidad y desplazamiento máximos del terreno.
 - Aceleración, velocidad y desplazamientos espectrales para diferentes periodos estructurales de vibración.
 - Contenido frecuencial característico de las señales el cual se captura con base en las amplitudes espectrales correspondientes.

Estos parámetros están dados para diferentes periodos de retorno de análisis

2 SISMOTECTÓNICA DE BOLIVIA

La orogénesis del territorio boliviano tiene origen en el movimiento convergente de las placas Nazca y Suramérica, el cual está asociado con alta actividad sísmica y volcánica. El litoral pacífico suramericano es una de las regiones de mayor actividad sísmica en el mundo. Particularmente en Bolivia, la amenaza está controlada por el efecto de la zona de subducción y por algunas fuentes corticales.

La convergencia de las placas Nazca y Suramérica, ha generado una zona de falla de cabalgamiento en el piedemonte de los Andes bolivianos (falla Mandeyapecua, ver Figura A. 4-2), junto con movimientos de tipo transcurrente al norte de Chile, cuya manifestación en superficie se encuentra delimitada por los sistemas de falla de Acatama (SFA) y Precordillera (SFP) (Hoffmann-Rothe *et al* 2006, ILP 2000 a, ILP 2000 b). De igual manera, al sur de Perú se destacan los sistemas de falla de Toquepala, Vilcanota y Escoma, este último adentrándose en territorio boliviano (ILP 2000 c). La zona de subducción misma es capaz de generar terremotos de muy alta magnitud (8+), a profundidades que son variables a medida que se adentra en el continente, siendo más probable la generación de un sismo relativamente superficial en cercanías a la costa Pacífica. En la frontera Este de Bolivia, la subducción de la placa Nazca alcanza profundidades alrededor de los 100 Km, lo que implica una disminución del peligro sísmico si se compara con Chile o Perú.

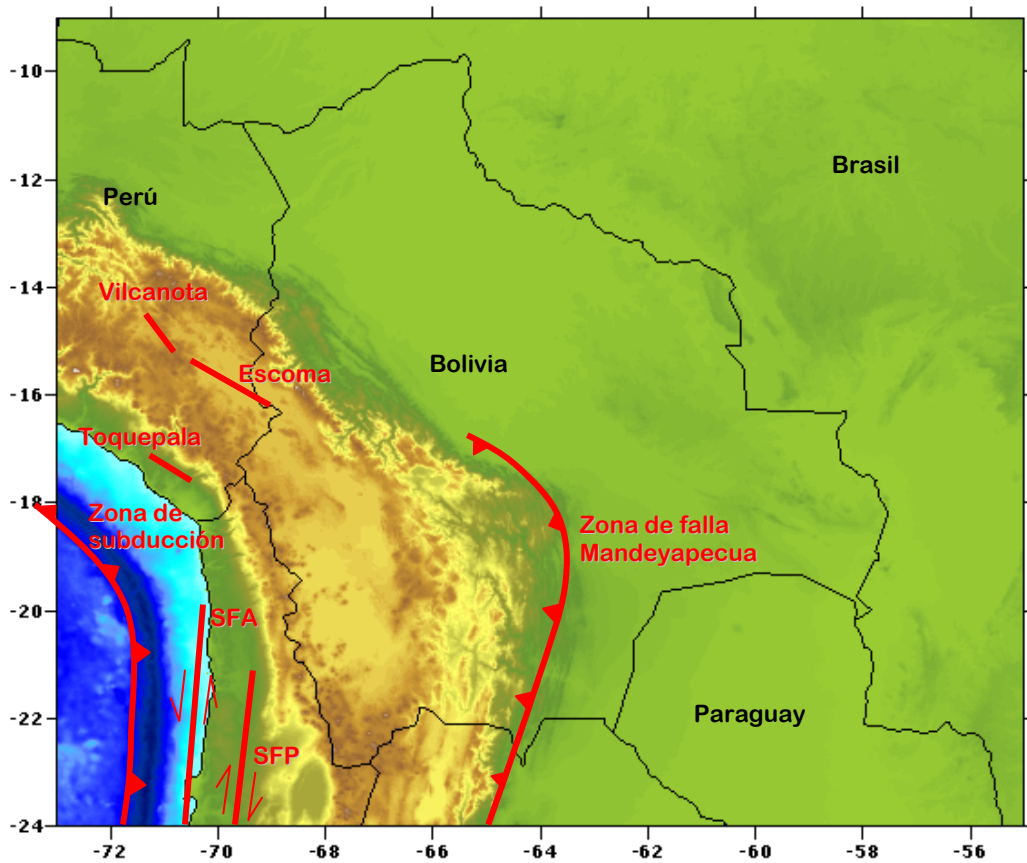


Figura A. 4-2
 Entorno sismotectónico de Bolivia

3 PARÁMETROS DE SISMICIDAD DE FUENTES SISMOGÉNICAS

Dentro del cálculo desarrollado se emplea el modelo de sismicidad de Poisson (Figura A. 4-3), en el cual la actividad de la i -ésima fuente sísmica se especifica en términos de la tasa de excedencia de las magnitudes, $\lambda_i(M)$, generadas por esta fuente. La tasa de excedencia de magnitudes mide qué tan frecuentemente se generan, en una fuente, temblores con magnitud superior a una dada. Para la mayor parte de las fuentes sísmicas, la función $\lambda_i(M)$ es una versión modificada de la relación de Gutenberg y Richter. En estos casos, la sismicidad queda descrita de la siguiente manera:

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_u}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_u}} \quad (\text{Ec. 1})$$

donde M_0 es la mínima magnitud relevante. λ_0 , β , y M_u son parámetros que definen la tasa de excedencia de cada una de las fuentes sísmicas. Estos parámetros, diferentes para cada fuente, se estiman mediante procedimientos estadísticos de máxima verosimilitud, más

información experta, especialmente sobre el valor de M_u , la máxima magnitud que puede generarse en cada fuente.

De esta manera, cada una de las fuentes sismogénicas queda caracterizada mediante una serie de parámetros de sismicidad los cuales se determinan con base en la información sísmica disponible. Los parámetros definidos son los siguientes:

- *Recurrencia de magnitudes*: se identifica mediante el parámetro β que representa la pendiente promedio de la curva de recurrencia de magnitudes (curva de número de eventos con magnitud mayor que M , versus magnitud sísmica M) en la zona de magnitudes bajas.
- *Magnitud máxima M_u* : se estima con base en la máxima longitud de ruptura posible de cada una de las fuentes y en otras características morfotectónicas.
- *Tasa de recurrencia de sismos con magnitud mayor que 3.0 λ_0* : corresponde al número promedio de eventos por año de sismos con magnitud mayor que 3.0 que ocurren en una determinada fuente.

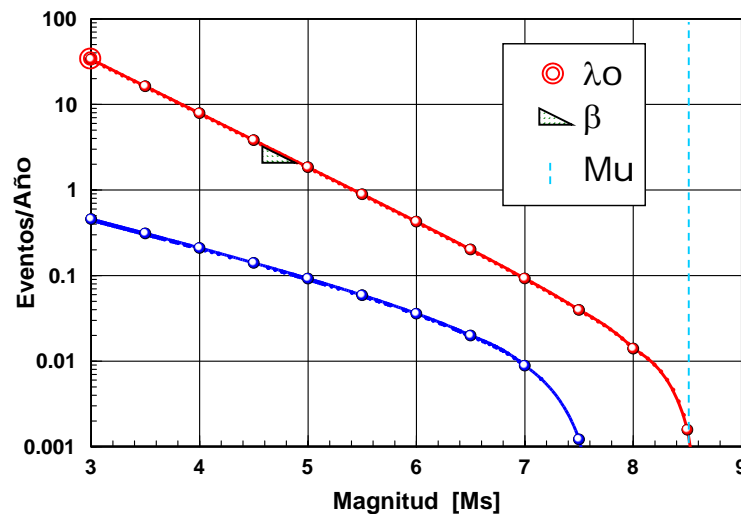


Figura A. 4-3

Ejemplo de tasas de excedencia de magnitudes para el modelo de Poisson.

El modelo de fuentes para el cálculo de la amenaza sísmica ha sido desarrollado por este grupo consultor (ERN) para toda Suramérica. Las fuentes sismogénicas regionales han sido definidas a partir de la información existente (OSC 1983, Hoffmann-Rothe *et al* 2006, ILP 2000 a, ILP 2000 b) En la Figura A. 4-4 y Figura A. 4-5 se presenta la distribución geográfica de las fuentes sismogénicas corticales y profundas, respectivamente. En la Tabla A. 4-1 se presentan los parámetros de sismicidad empleados en el análisis para cada fuente.

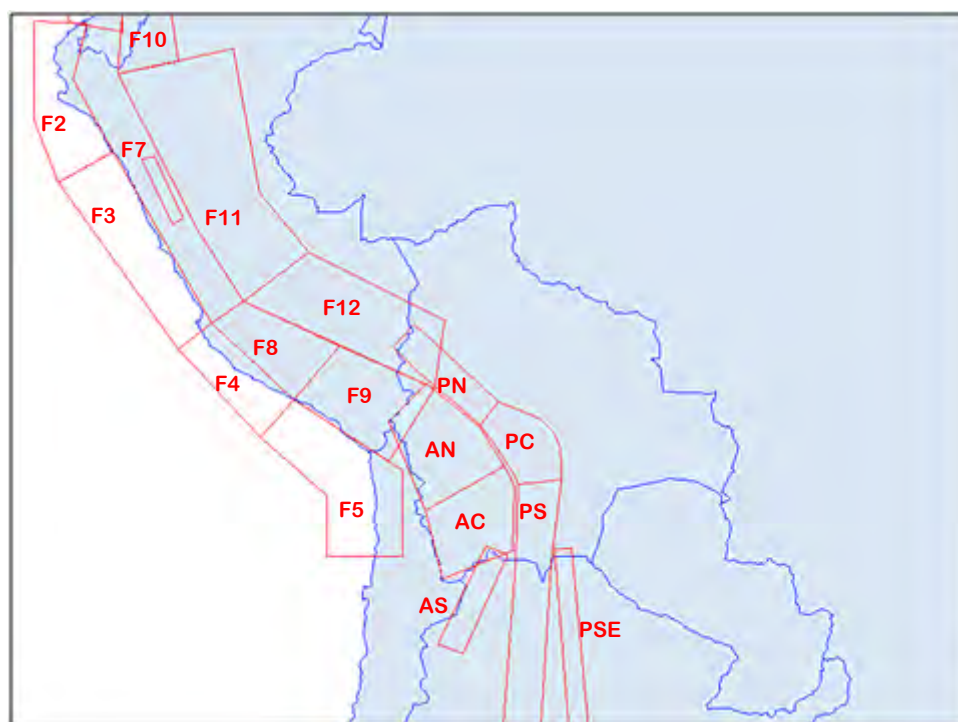


Figura A. 4-4

Localización geográfica de las fuentes sismogénicas corticales a nivel regional

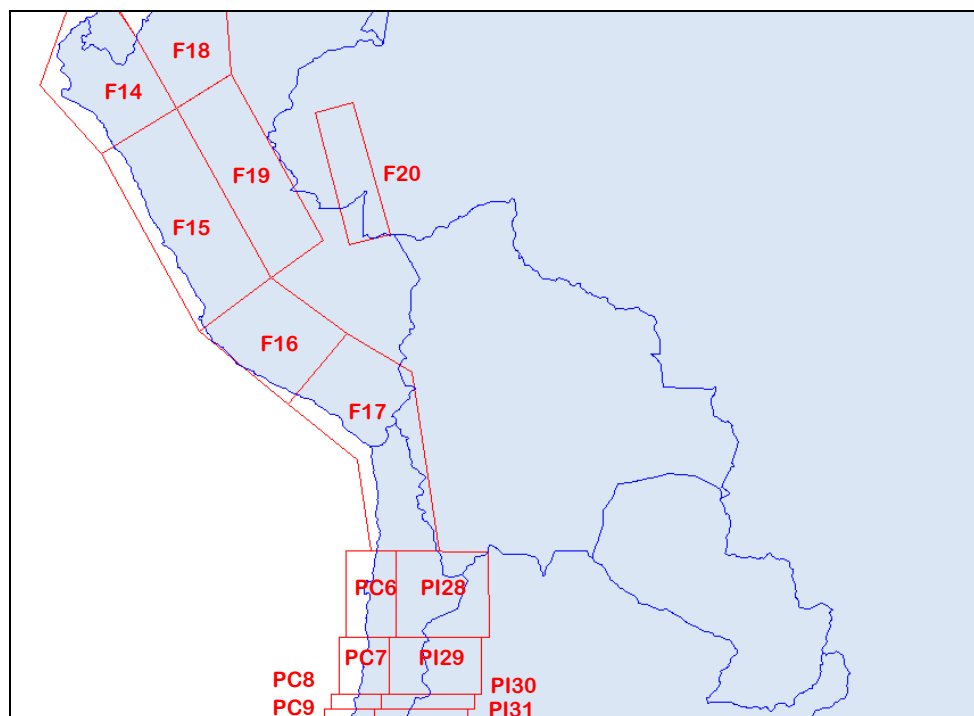


Figura A. 4-5

Localización geográfica de las fuentes sismogénicas profundas a nivel regional

Tabla A. 4-1
Parámetros de sismicidad de las fuentes

N°	Nombre zona	Código	Prof promedio [Km]	Magnitud última	λ_0	β	Mo
1	Placa Costera 6	PC6	44	8.5	1.63	1.93	5
2	Placa Costera 7	PC7	41	8.5	2.519	1.612	5
3	Placa Costera 8	PC8	38	8.5	0.618	1.612	5
4	Placa Costera 9	PC9	37	8.5	0.614	1.612	5
5	Placa Interior 28	PI28	151	8.5	5.705	2.118	5
6	Placa Interior 29	PI29	138	8.5	0.88	1.75	5
7	Placa Interior 30	PI30	128	8.5	0.216	1.75	5
8	Placa Interior 31	PI31	125	8.5	0.214	1.75	5
9	Fuente 1	F1	40	8.4	64.3915	0.7593	3
10	Fuente 2	F2	40	8.2	71.83	1.3145	4.5
11	Fuente 3	F3	40	8.3	270.5546	1.094	3.5
12	Fuente 4	F4	40	8.5	114.8865	1.2246	4
13	Fuente 5	F5	40	8.5	118.1929	1.1905	4
14	Fuente 6	F6	40	7.7	49.6561	0.8369	2.8
15	Fuente 7	F7	40	7.8	5.7512	0.9259	3.5
16	Fuente 8	F8	40	7.3	49.8166	1.2298	2.8
17	Fuente 9	F9	40	7.8	40.3763	1.0017	3.5
18	Fuente 10	F10	40	7.6	41.4201	0.8953	3.8
19	Fuente 11	F11	40	7.4	276.1853	0.9602	3
20	Fuente 12	F12	45	7.4	36.8527	0.9826	3
21	Fuente 13	F13	125	7.2	38.7453	1.0431	3
22	Fuente 14	F14	130	6.8	37.7096	0.9835	3.5
23	Fuente 15	F15	130	7.5	59.5276	0.9114	3.8
24	Fuente 16	F16	115	7.5	100.445	1.3695	4
25	Fuente 17	F17	130	7.8	169.5944	1.5434	4.8
26	Fuente 18	F18	155	7.8	151.29	0.8638	3.5
27	Fuente 19	F19	160	7.3	78.6535	1.2109	4.3
28	Fuente 20	F20	580	7.8	24.0845	0.6369	4.5
29	Piedemonte Norte	PN	33	6	0.286	0.592	3
30	Piedemonte Centro	PC	28	6	0.686	0.507	3
31	Piedemonte Sur	PS	33	6.7	1.143	0.533	3
32	Piedemonte Sur Este	PSE	33	7	1.4	0.552	3
33	Andes Norte	AN	33	6.5	2.6	0.594	3
34	Andes Centro	AC	33	6.7	5.114	0.616	3
35	Andes Sur	AS	33	7	12	0.615	3

4 ATENUACIÓN DE LAS ONDAS SÍSMICAS

Una vez determinada la tasa de actividad de cada una de las fuentes sísmicas, es necesario evaluar los efectos que, en términos de intensidad sísmica, produce cada una de ellas en un sitio de interés. Para ello se requiere saber qué intensidad se presentaría en el sitio en cuestión, a nivel de terreno firme, si en la i -ésima fuente ocurriera un temblor con magnitud dada. A las expresiones que relacionan magnitud, posición relativa fuente-sitio e intensidad sísmica se les conoce como *leyes de atenuación*. Usualmente, la posición relativa fuente-sitio se especifica mediante la distancia focal, es decir, la distancia entre el foco sísmico (hipocentro) y el sitio. Se considera que las intensidades sísmicas relevantes son las ordenadas del espectro de respuesta en aceleración a , (para un 5% del amortiguamiento crítico), cantidades que son aproximadamente proporcionales a las fuerzas laterales de inercia que se generan en las estructuras durante sismos.

La intensidad sísmica no está exenta de incertidumbre por lo que no puede considerarse como una variable determinista. Por esta razón, se supone que la intensidad sísmica a es una variable aleatoria de distribución lognormal con mediana dada por la ley de atenuación y desviación típica del logaritmo natural igual a σ_{lna} . Se utilizan leyes de atenuación espectrales que toman en cuenta el hecho de que la atenuación es diferente para ondas de diferentes frecuencias, con lo cual es posible calcular el espectro de respuesta esperado dadas una magnitud y una distancia.

Se adoptan los modelos de atenuación propuestos por Campbell en 1997, definidos para aceleraciones espectrales, y modificados por este grupo consultor (ERN) para representar adecuadamente la atenuación del movimiento en la región suramericana.

5 CÁLCULO DE LA AMENAZA SÍSMICA

Una vez conocidas la sismicidad de las fuentes y los patrones de atenuación de las ondas generadas en cada una de ellas, puede calcularse la amenaza sísmica considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se encuentra la estructura. La amenaza, expresada en términos de las tasas de excedencia de intensidades a , se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\nu(a | Ro, p) = \sum_{n=1}^{n=N} \int_{M_0}^{M_u} -\frac{\partial \lambda}{\partial M} \Pr(A > a | M, Ro) dM \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas N , y $\Pr(A > a | M, R_i)$ es la probabilidad de que la intensidad exceda un cierto valor, dadas la magnitud del sismo M , y la distancia entre la i -ésima fuente y el sitio R_i . Las funciones $\lambda_i(M)$ son las tasas de actividad de las fuentes sísmicas. La integral se realiza desde M_0 hasta M_u , lo que indica que se toma en cuenta, para cada fuente sísmica, la contribución de todas las magnitudes.

En vista de que se supone que dadas la magnitud y la distancia, la intensidad tiene distribución lognormal, la probabilidad $\Pr(A > a | M, R_i)$ se calcula de la siguiente manera:

$$\Pr(A > a | M, R_i) = \phi \left(\frac{1}{\sigma_{\ln a}} \ln \frac{E(A | M, R_i)}{a} \right) \quad (\text{Ec. 3})$$

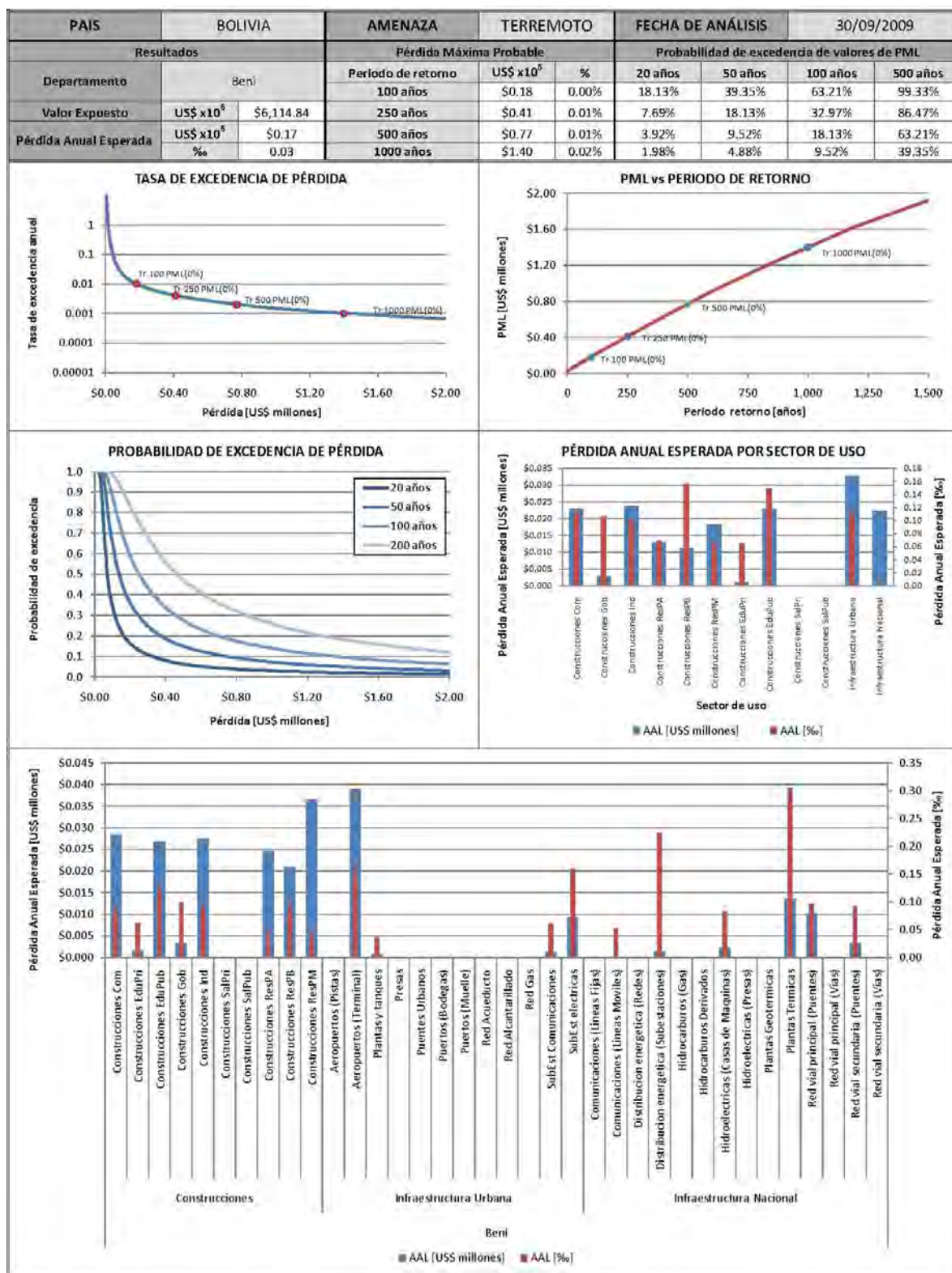
Siendo $\phi(\cdot)$ la distribución normal estándar, $E(A | M, R_i)$ el valor medio del logaritmo de la intensidad (dado por la ley de atenuación correspondiente) y $\sigma_{\ln a}$ su correspondiente desviación estándar.

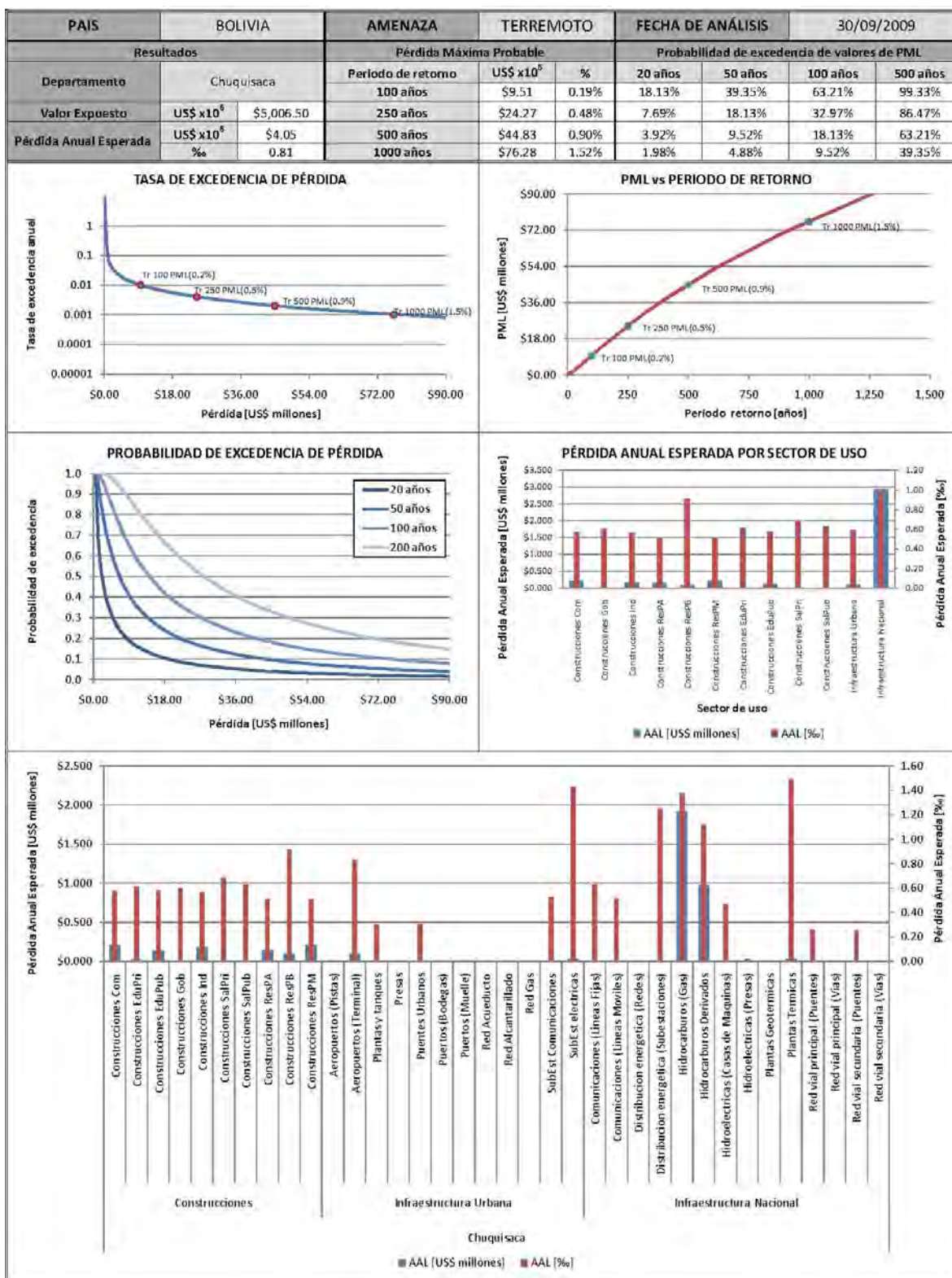
La amenaza o el peligro sísmico se expresa, entonces, en términos de la tasa de excedencia de valores dados de intensidad sísmica. Como se ha indicado, en este caso la intensidad sísmica, a , se mide con las ordenadas del espectro de respuesta de pseudoaceleraciones para 5% del amortiguamiento crítico y el periodo natural de vibración de la edificación de interés, T .

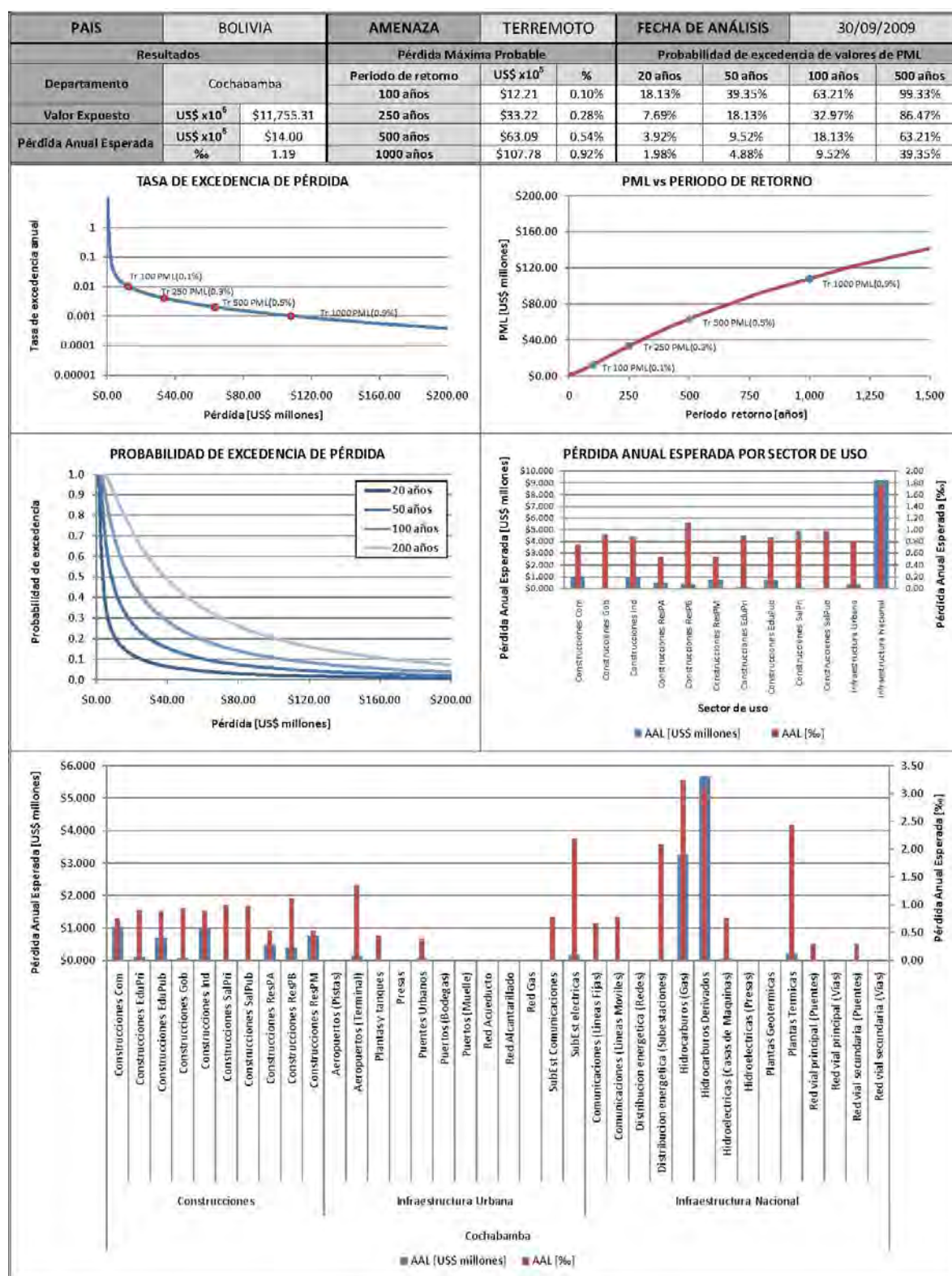
6 REFERENCIAS

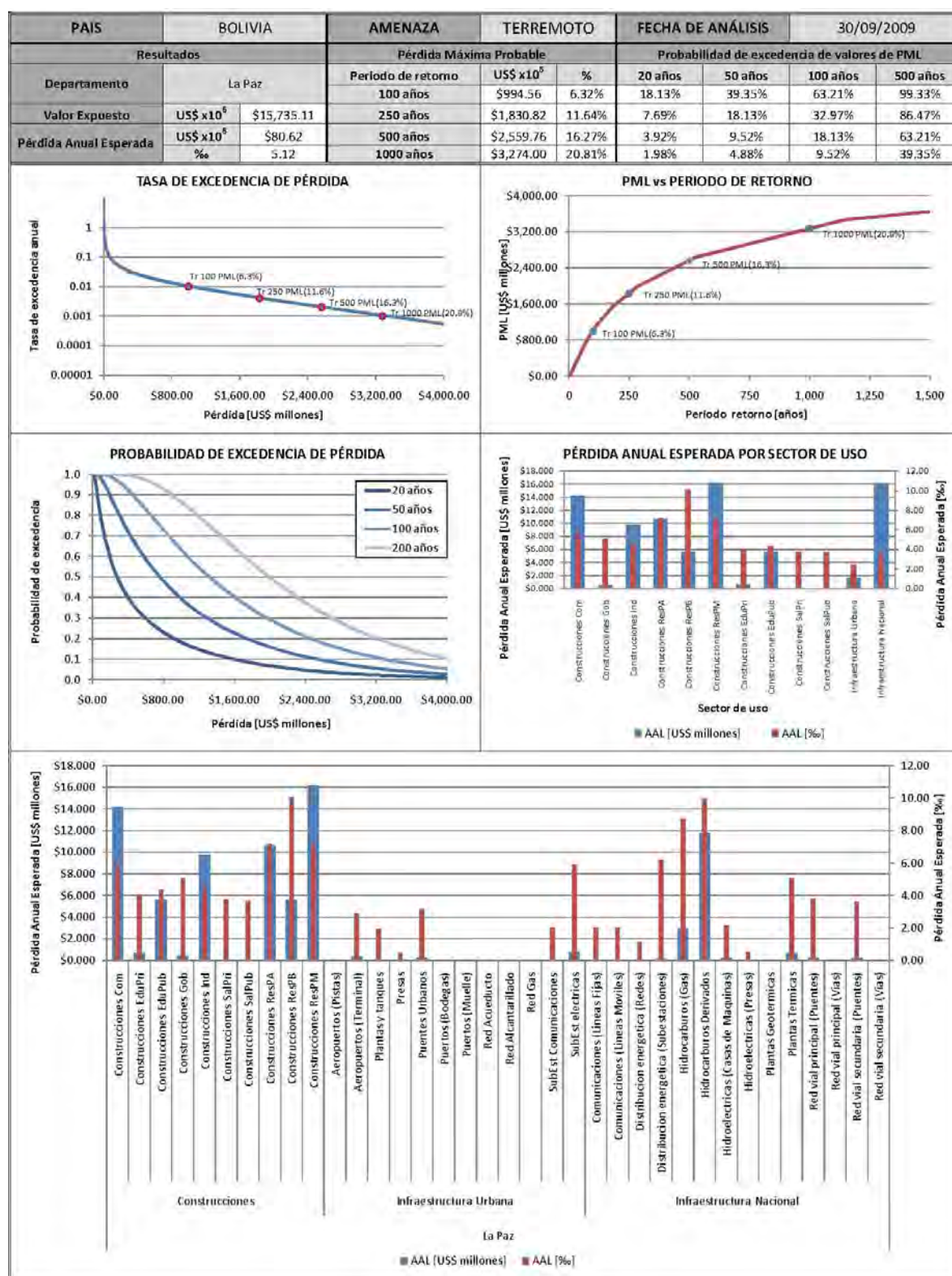
- ◇ Campbell, K., Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra. *Seis. Res. Lett.*, 68, 154-179.
- ◇ ERN-América Latina. 2009. CAPRA: Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment. World Bank, IADB, UN-ISDR, CEPREDENAC. Informe ERN-CAPRA-T1-3 - Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales. Junio 2009.
- ◇ Hoffmann Rothe, A., Kukowski, N., Dresen, G., Echtler, H., Oncken, O., Klotz, J., Scheuber, E., Kellner, A., 2006. Oblique Convergence along the Chilean Margin: Partitioning, Margin-Parallel Faulting and Force Interaction at the Plate Interface. Capítulo 6 de: Oncken et.al (ed.). 2006. The Andes: Active Subduction Orogeny. Springer.
- ◇ ILP International Lithosphere Program. 2000 a. Map of Quaternary Faults of Bolivia.
- ◇ ILP International Lithosphere Program. 2000 b. Map of Quaternary Faults of Chile.
- ◇ ILP International Lithosphere Program. 2000 c. Map of Quaternary Faults of Perú.
- ◇ Ordaz, M., Aguilar, A., Arboleda, J. 2007, CRISIS2007: Program for Computing Seismic Hazard. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- ◇ OSC Observatorio San Calixto. 1983. Mapa Sismotectónico de Bolivia.

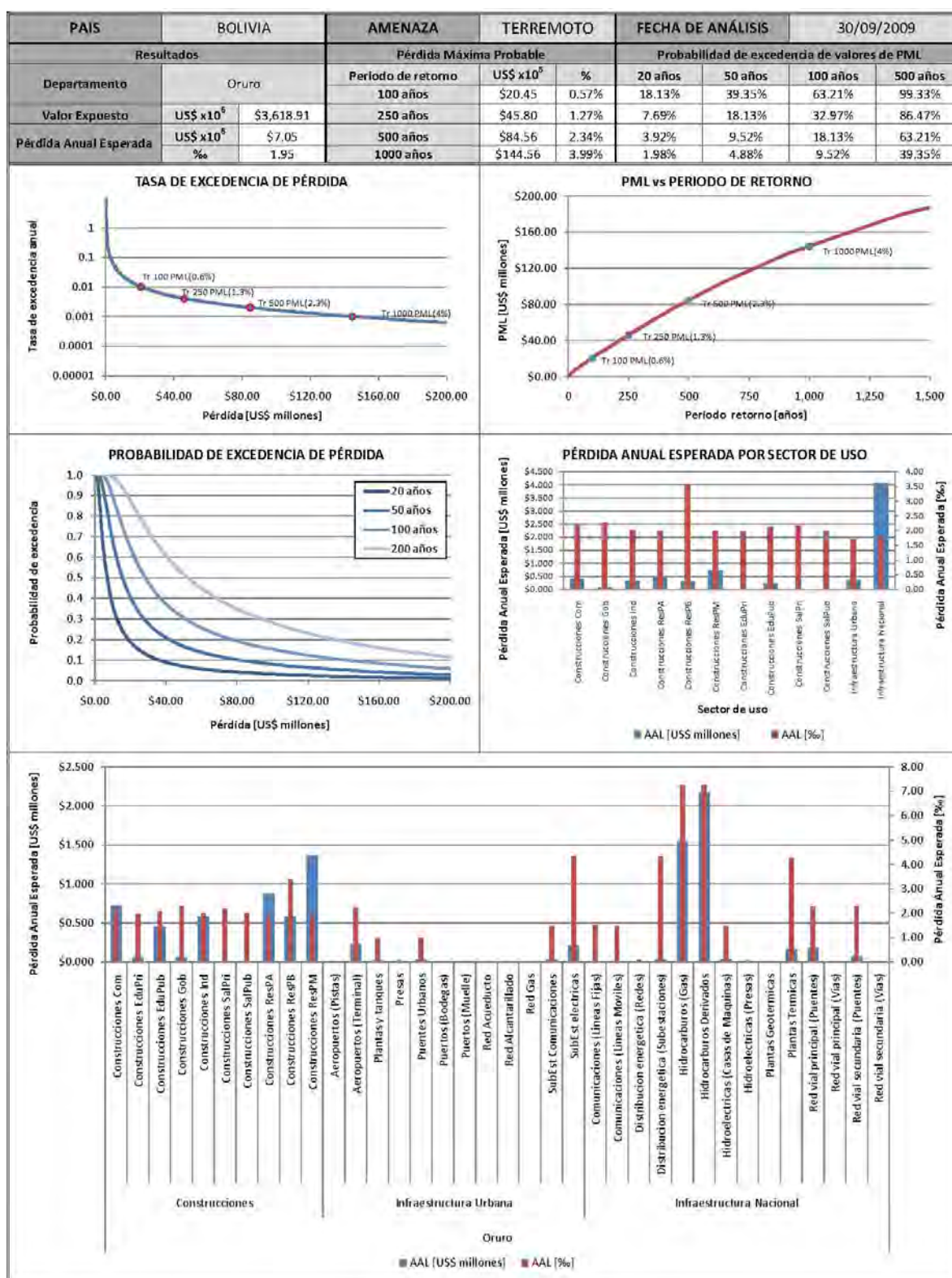
ANEXO 5. RESULTADOS POR DEPARTAMENTO

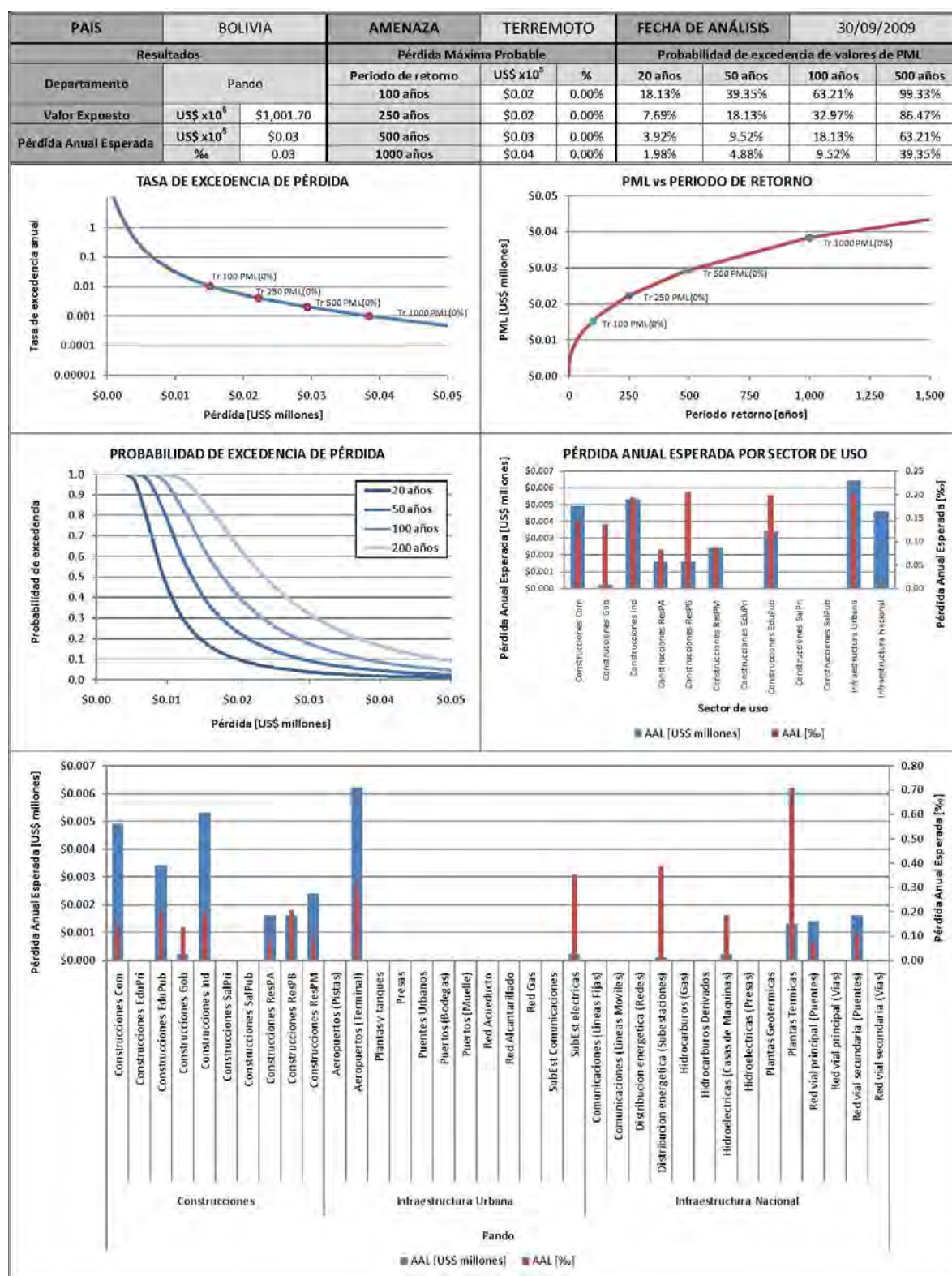


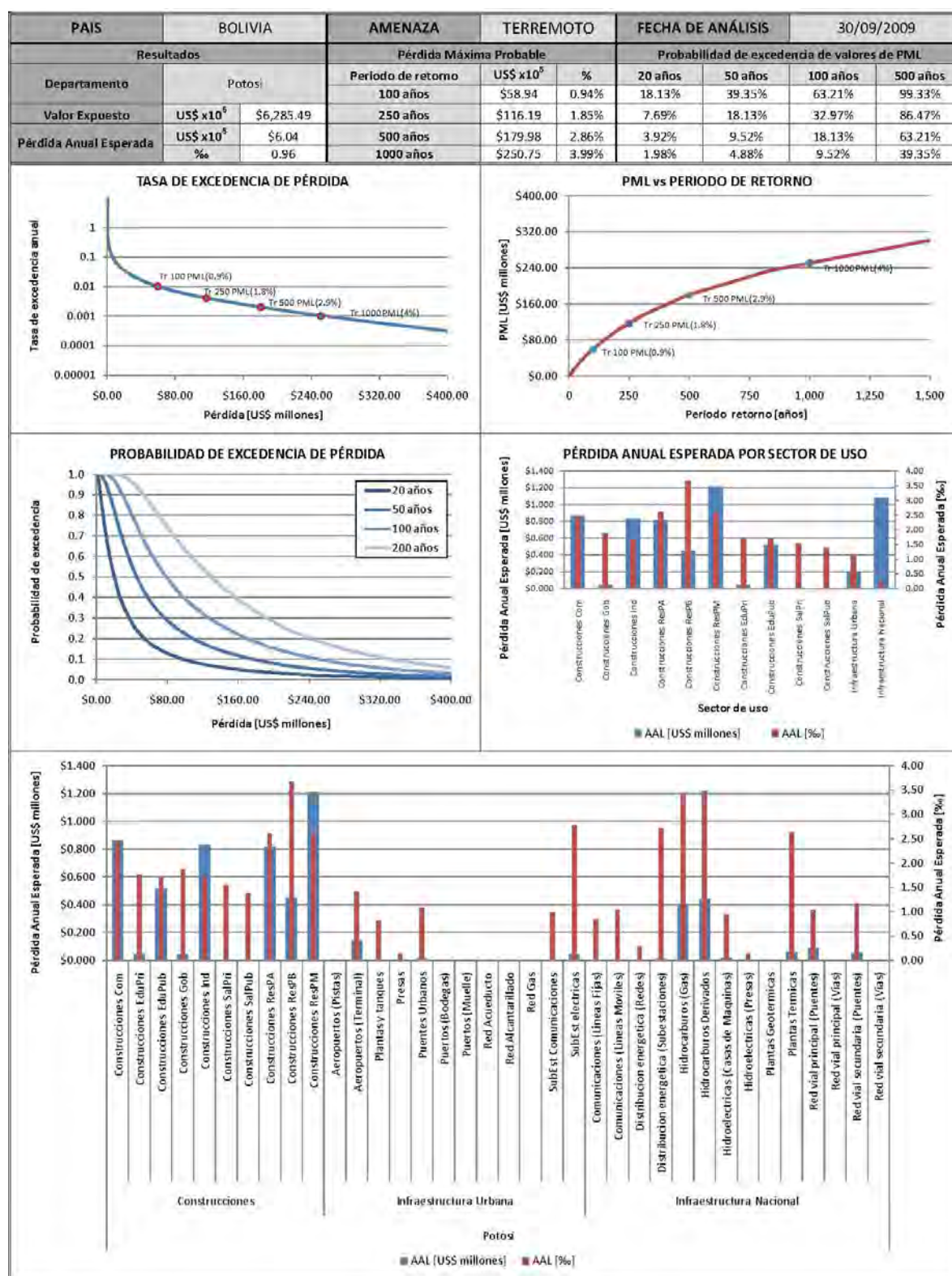


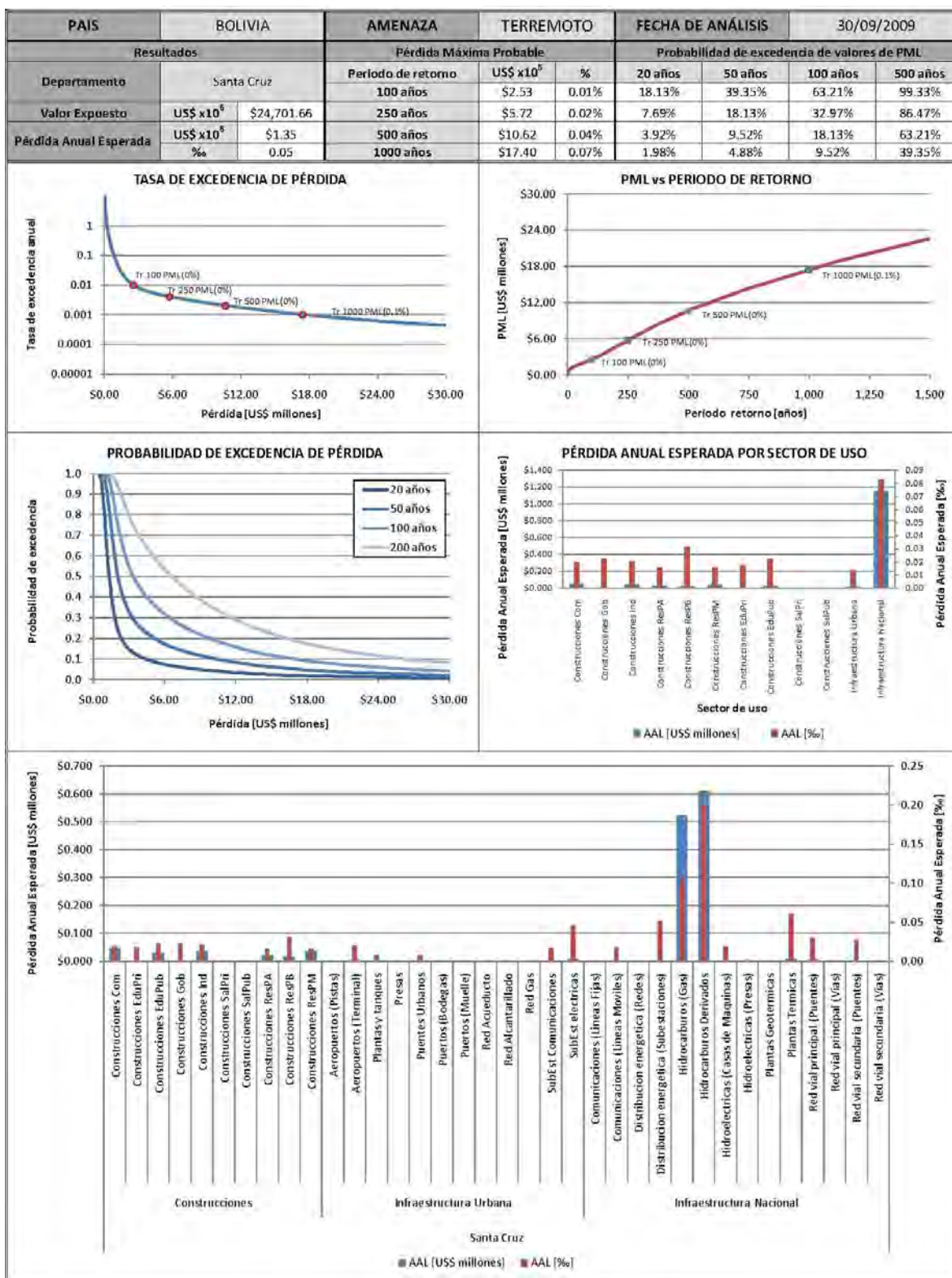


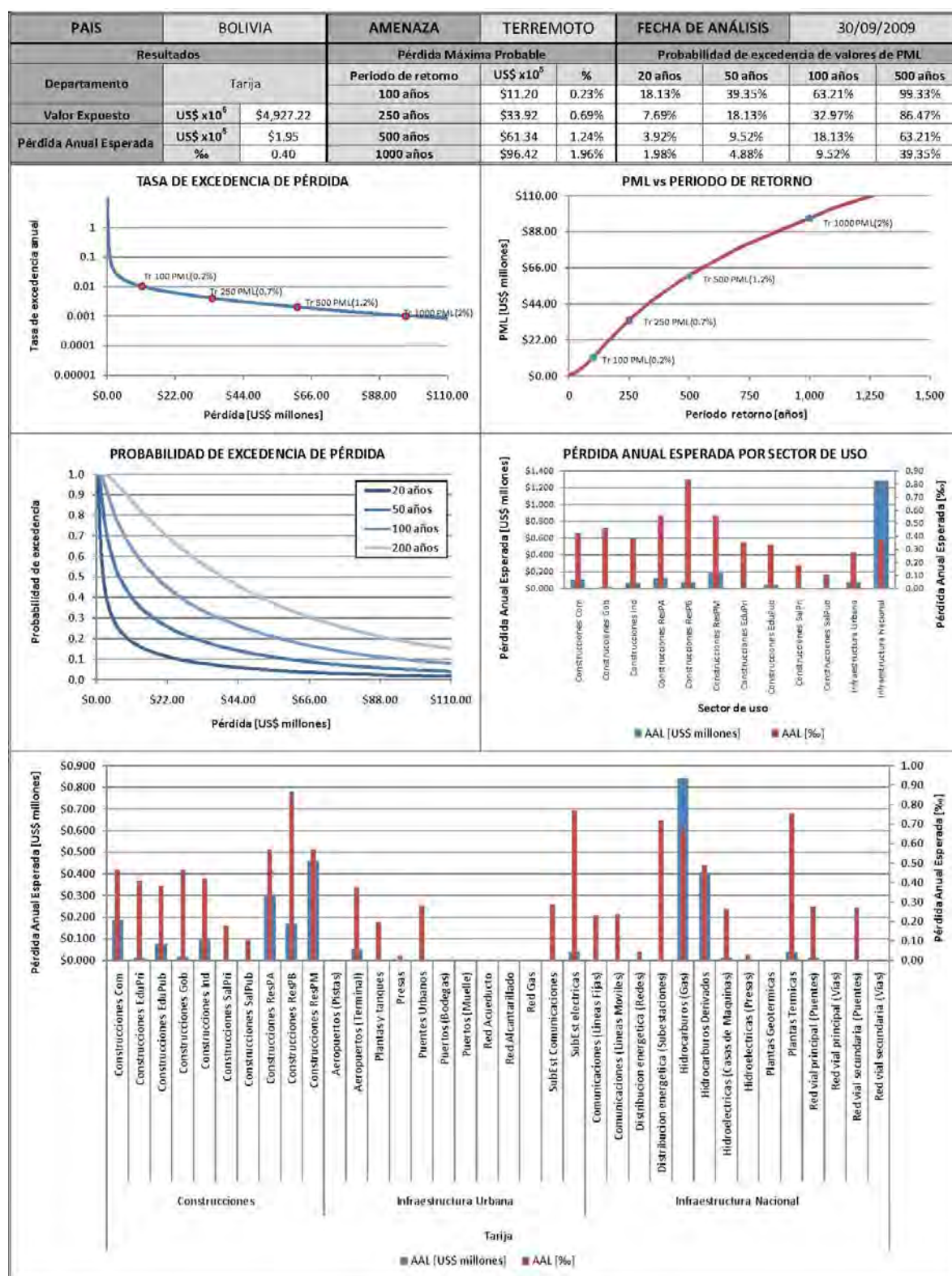












ANEXO 6. RESULTADOS POR SECTOR

