INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

Evaluación probabilista del riesgo sísmico de escuelas y hospitales de Lima

INVESTIGADOR RESPONSABLE

Sandra Santa Cruz

ASISTENTES DE INVESTIGACIÓN

Juan Palomino, Rodrigo Tamayo, Jaclyn Corrales, Hugo Díaz

FINANCIADO POR

Banco Mundial, Fondo Español de América Latina y el Caribe

INSTITUCIONES INVOLUCRADAS

ERN México, Ministerio de Economía y Finanzas

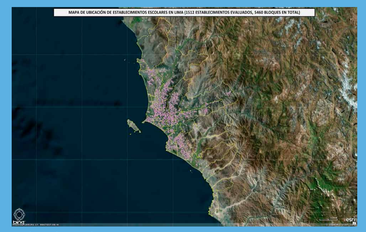
INVESTIGAPUCP 2013 VIII EXPOSICIÓN DE INVESTIGACIÓN

El proyecto consiste en evaluar las pérdidas probables para los sectores de salud y educación en la Ciudad de Lima, a partir del cálculo riguroso de la tasa de excedencia de pérdidas. La estimación de esta tasa requiere herramientas sofisticadas y un gran conocimiento de la amenaza sísmica y del desempeño estructural de los tipos de edificaciones. Se requiere además de información sobre las características de las edificaciones existentes como localización, sistema estructural y condiciones del terreno en donde se encuentran cimentadas.

El proyecto se divide en actividades de campo y gabinete. El trabajo de campo consiste en el levantamiento de información de las edificaciones existentes. El trabajo en gabinete consiste en la caracterización y procesamiento de la información levantada mediante una herramienta en sistema de información geográfica (SIG).

Este estudio pretende establecer un estándar para la estimación de pérdidas probables en el sector público. Los resultados de este estudio podrán ser utilizados para la creación de instrumentos financieros de gestión de riesgos y para la priorización de medidas de mitigación.

DATOS DE COLEGIOS



Ambito de estudio.

Se definieron dos tipos de locales escolares principales:

TIPO 780-PRE

Estructura rectangular de concreto armado y albañilería, conformada por aulas típicas de 780 cm de lado. Estas edificaciones fueron construidas, años previos a la modificación y mejora de la Norma de Diseño Sismo Resistente E.030 del año 1997. (Entre los 80's y 90's).

TIPO 780 POST

Edificación rectangular, conformada por aulas modulares de 780cm de lado. Su diseño y ejecución se realizaron a partir del año 1997, bajo las consideraciones de la NDSR E.030 actualizada el mismo año. Las condiciones estructurales requeridas por esta norma, son más exigentes respecto al anterior dado que se solicita incrementos significativos de la rigidez y resistencia lateral de la estructura.

PRINCIPALES PROBLEMAS ENCONTRADOS EN LOS COLEGIOS

Corrosión.

Cráteres – Cangrejeras.

Humedad.

Desprendimientos.

INFORMACIÓN DE HOSPITALES

	MINSA			ESSALUD		
	# DE PABELLONES	ÁREA CONSTRUIDA	% DE INCIDENCIA	# DE PABELLONES	ÁREA CONSTRUIDA	% DE INCIDENCIA
A–PRE–B	16	11155	0.02	0	0	0
DUAL–POST–B	10	9721	0.02	0	0	0
DUAL–POST–M	2	5943	0.01	0	0	0
DUAL–PRE–A	2	13614	0.03	0	0	0
DUAL–PRE–B	1	389	0	0	0	0
DUAL–PRE–M	5	12258	0.03	0	0	0
MC–POST–B	14	3462	0.01	21	6598	0.02
MC–PRE–B	207	144437	0.31	23	35837	0.12
MC–PRE–M	1	317	0	0	0	0
MS–PRE–B	45	51387	0.11	0	0	0
MS–PRE–M	2	8876	0.02	0	0	0
NI–POST–B	1	189	0	2	1276	0.004
NI–PRE–B	1	374	0.001	2	695	0.002
PORT–POST–B	25	9562	0.02	26	48821	0.17
PORT–POST–M	1	9106	0.02	0	0	0
PORT–PRE–A	2	13229	0.03	5	88222	0.3
PORT–PRE–B	143	108393	0.23	40	53130	0.18
PORT–PRE–M	13	52508	0.11	15	52248	0.18
PREF–POST–B	11	1859	0	1	454	0
PREF–PRE–B	27	7570	0.02	10	3182	0.01
TOTAL	529	464349	1	145	290463	1

La base de datos de infraestructura pública de salud de la ciudad de Lima está constituida por 674 registros que corresponden a 674 pabellones de los 39 establecimientos de salud. El área construida total de la infraestructura levantada es de 755 mil metros cuadrados aproximadamente. Los establecimientos con mayor área construida y que constituyen el 30% del área total de la base de datos son: Edgardo Rebagliati–ESSALUD, Guillermo Almenara–ESSALUD y Daniel Alcides Carrión–MINSA. Inspeccionados se visitaron 39 de los 41 establecimientos de salud de la Ciudad de Lima.

ALGUNOS HOSPITALES VISITADOS

Hospital Daniel Alcides Carrión.

Hospital Edgardo Rebagliati Martins.

Instituto Nacional de Salud del Niño.

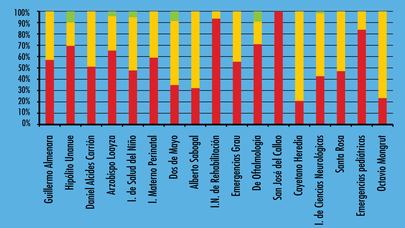
Hospital de Ventanilla.

RIESGOS EN HOSPITALES

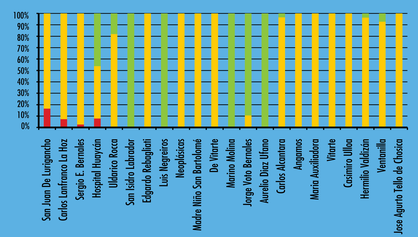
Se estimaron las pérdidas anuales esperadas (PAE) de los 674 pabellones que conforman la base de datos con el programa CAPRA. Este valor representa el monto anualizado de las pérdidas por daños debido a sismos en un periodo de observación muy largo. El valor de la PAE se calcula como el promedio ponderado de las pérdidas de todos los posibles escenarios sísmicos con el valor de la frecuencia anual de ocurrencia como factor de ponderación.

Los valores estimados de PAE por pabellón varían entre 3 y 45 al millar de su valor. Los sistemas de concreto armado formado por muros y pórticos con diseño acorde a normas sísmicas actuales y ubicados en la zona de suelos firmes tienen PAE del orden del 3 al millar. Este valor resulta similar al de las primas técnicas de seguros de infraestructura con buen diseño estructural ubicados en zonas sísmicas. El valor de 40 al millar corresponde a sistemas tipo naves industriales, estructuras prefabricadas diseñadas con códigos antiguos o sin diseño sísmico y construcciones con albañilería sin confinar. Este valor de pérdida anual esperada resulta muy alto excede en casi 15 veces el valor correspondiente a las edificaciones más seguras.

La suma de las PAE de todas las edificaciones de la base de datos de 37.5 millones de soles, que representa el 24.4 al millar del valor total de reposición de todas las edificaciones. El valor de reposición fue calculado con base en el costo de reposición considerando los estándares actuales de arquitectura y de diseño sismo resistente.

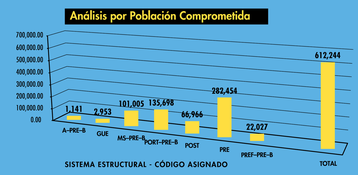


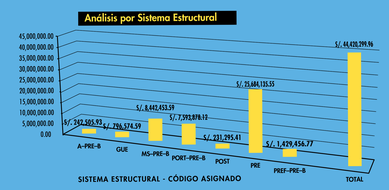
Muestra la distribución del riesgo en los establecimientos de salud que poseen pabellones con riesgo alto. El color de las barras indica el % del área construida que se encuentra en un determinado nivel de riesgo. Los establecimientos con mayor porcentaje de área en riesgo alto son el Hospital San José del Callao en Carmen de La Legua, el Antiguo Instituto Nacional de Rehabilitación en el Callao, el Hospital Hipólito Unanue en El Agustino, El Instituto Nacional de Oftalmología en el Cercado de Lima y el Hospital de Emergencias Pediátricas en La Victoria. Todos estos establecimientos son del MINSA.



Muestra la distribución del riesgo en los establecimientos que poseen pabellones con riesgo medio y bajo. Los Hospitales con riesgo más bajo son los Hospitales de ESSALUD San Isidro Labrador en Ate, Luis Negreiros en el Callao, Marino Molina en Comas, Aurelio Díaz Ufano y Peral en San Juan de Lurigancho y Jorge Voto Bernales en Santa Anita.

RIESGOS EN COLEGIOS



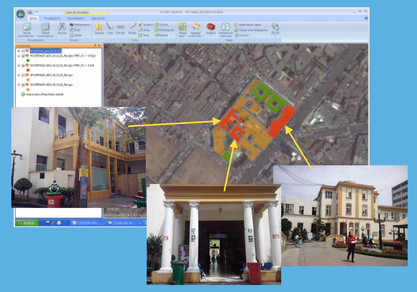


Se realizó el levantamiento del sistema estructural de 1454 colegios (5460 pabellones). En la figura se muestra la pérdida anual esperada según sistema estructural. Se puede observar que las mayores pérdidas se presentan en los sistemas PRE que están constituidos por módulos típicos construidos bajo la norma sísmica anterior a 1997. Este sistema estructural alberga a una población de 282 mil alumnos aproximadamente.

PÉRDIDA TOTAL (S/.)	PML / VALOR DE REPOSICIÓN TOTAL(%)	FRECUENCIA (AÑOS-1)	PERIODO DE RETORNO T (AÑOS)
S/. 1,410	0.0%	2.09E+1	0
S/. 1,860	0.0%	2.05E+1	0
S/. 2,460	0.0%	2.01E+1	0
S/. 3,250	0.0%	1.94E+1	0
S/. 4,290	0.0%	1.85E+1	0
S/. 5,660	0.0%	1.74E+1	0
S/. 7,460	0.0%	1.60E+1	0
S/. 9,850	0.0%	1.44E+1	0
S/. 13,000	0.0%	1.26E+1	0
S/. 17,200	0.0%	1.07E+1	0
S/. 22,600	0.0%	8.82E+0	0
S/. 29,900	0.0%	7.09E+0	0
S/. 39,400	0.0%	5.58E+0	0
S/. 52,000	0.0%	4.38E+0	0
S/. 68,700	0.0%	3.48E+0	0
S/. 90,600	0.0%	2.86E+0	0
S/. 120,000	0.0%	2.46E+0	0
S/. 158,000	0.0%	2.22E+0	0
S/. 208,000	0.0%	2.05E+0	0
S/. 275,000	0.0%	1.92E+0	1
S/. 363,000	0.0%	1.80E+0	1
S/. 479,000	0.0%	1.68E+0	1
S/. 632,000	0.0%	1.57E+0	1
S/. 834,000	0.1%	1.46E+0	1
S/. 1,100,000	0.1%	1.34E+0	1
S/. 1,450,000	0.1%	1.24E+0	1
S/. 1,920,000	0.1%	1.13E+0	1
S/. 2,530,000	0.2%	1.03E+0	1
S/. 3,340,000	0.2%	9.25E-1	1
S/. 4,400,000	0.3%	8.28E-1	1
S/. 5,810,000	0.4%	7.35E-1	1
S/. 7,670,000	0.5%	6.46E-1	2
S/. 10,100,000	0.7%	5.63E-1	2
S/. 13,400,000	0.9%	4.86E-1	2
S/. 17,600,000	1.2%	4.15E-1	2
S/. 23,300,000	1.6%	3.50E-1	3
S/. 30,700,000	2.2%	2.93E-1	3
S/. 40,500,000	2.9%	2.42E-1	4
S/. 53,500,000	3.8%	1.97E-1	5
S/. 70,600,000	5.0%	1.58E-1	6
S/. 93,100,000	6.6%	1.23E-1	8
S/. 123,000,000	8.7%	9.37E-2	11
S/. 162,000,000	11.5%	6.80E-2	15
S/. 214,000,000	15.1%	4.60E-2	22
S/. 282,000,000	20.0%	2.81E-2	36
S/. 373,000,000	26.4%	1.44E-2	69
S/. 492,000,000	34.8%	5.27E-3	190
S/. 649,000,000	45.9%	9.60E-4	1,042
S/. 857,000,000	60.6%	3.53E-5	28,329
S/. 1,130,000,000	80.0%	2.26E-8	44,247,788

La pérdida máxima probable, PML, es la pérdida que ocurriría en un evento muy poco frecuente. La probabilidad de que ocurra un evento sísmico que produzca una pérdida igual o mayor al PML es muy baja. Esta probabilidad se expresa en términos del periodo de retorno. A mayor periodo de retorno, mayor PML y menor probabilidad de excedencia.

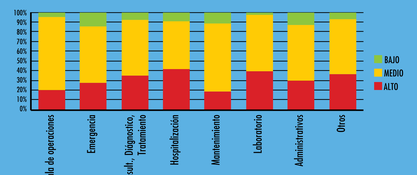
RIESGO POR PABELLONES



NIVEL DE RIESGO	PÉRDIDA ANUAL ESPERADA	CÓDIGO DE COLOR
Alto	Mayor de 28 al millar	
Medio	Entre 28 y 12 al millar	
Bajo	Menor que 12 al millar	

La figura muestra los niveles de riesgo en capas sobrepuestas a imágenes satelitales para el Instituo de Salud del Niño. Las capas de riesgo indican en código de colores los niveles de riesgo tal. Las figuras se obtuvieron con el programa Arc Gis Explorer ©. De manera ilustrativa se han colocado algunas fotografías de los edificios con mayor riesgo.

RIESGO EN DISTINTAS UNIDADES DE LOS HOSPITALES



Distribución del riesgo en las distintas unidades o servicios de la infraestructura hospitalaria de la ciudad de Lima. Los colores de las barras indican el nivel de riesgo. El criterio para definir el nivel de riesgo se encuentra en la tabla 15. El porcentaje de unidades de Emergencias y Hospitalización que se encuentran ubicadas en pabellones con riesgo alto no es despreciable. (27% para Emergencia, 40% para Hospitalización). Así mismo el 35% de los servicios de consulta externa, tratamiento y diagnóstico se ubican en pabellones con riesgo alto. Esto significa el 35% de estos servicios podría interrumpirse en caso de desastre.