

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**ESCUELA DE POSGRADO**



**PRIORIZACIÓN DEL REFORZAMIENTO DE COLEGIOS  
PÚBLICOS DE LIMA PARA LA MITIGACIÓN DEL RIESGO  
SÍSMICO**

Tesis para optar el Grado de **Magíster en Ingeniería Civil**, que presentan los  
ingenieros:

**Arana Vasquez, Víctor Ernesto**  
**Palomino Bendezú, Juan Samuel**

**ASESORA:** Dra. Sandra Cecilia Santa Cruz Hidalgo

Lima, abril de 2016

A nuestras familias

## **Agradecimientos**

A la doctora Ing. Sandra Santa Cruz por su impecable dirección de esta tesis y sobre todo, por su continuo apoyo e invaluable amistad.

A la doctora Arq. Martha Rosa Vilela Malpartida

A la Magister Arq. Graciela Fernández de Córdova

A la Magister Miryam Rebeca Rivera Holguín

Al doctor Máximo Vega Centeno

Al Centro de Investigación de Arquitectura y Ciudad de la PUCP, CIAC-PUCP

Al Ministerio de Educación, y los funcionarios de la DRELM, DIECA y PRONIED que participaron y ayudaron en el desarrollo de esta tesis.

Al CONCYTEC, por la beca y financiamiento para la realización de nuestros estudios de posgrado en la Maestría en Ingeniería Civil.

A la PUCP, nuestra alma mater, y nuestros compañeros del programa de maestría.

A Dios y nuestras familias, por el sacrificio, soporte y ánimos que nos dieron y sin el cual no hubiera sido posible realizar esta tesis.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
1.1 ANTECEDENTES	3
1.2 OBJETIVOS	4
1.3 ALCANCES	4
1.4 HIPÓTESIS	5
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>6</b>
<b>3. METODOLOGÍA DE PRIORIZACIÓN PARA INTERVENCIONES DE MITIGACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN COLEGIOS PÚBLICOS</b>	<b>8</b>
3.1 IDENTIFICACIÓN DE ACTORES Y DISCIPLINAS INVOLUCRADAS	8
3.1.1 TALLER PARTICIPATIVO EN REDUCCIÓN DE RIESGO SÍSMICO EN LA POBLACIÓN ESTUDIANTIL	9
3.1.2 SEGUNDA SESIÓN	13
3.2 FILOSOFÍA	16
3.3 LONGITUD Y RESOLUCIÓN DE DATA	17
3.4 PROCEDIMIENTO DE LA METODOLOGÍA	18
3.4.1 RECOLECCIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS	20
3.4.2 IDENTIFICACIÓN DE FACTORES RELEVANTES PARA LA PRIORIZACIÓN	20
3.4.3 ANÁLISIS FÍSICO ESTRUCTURAL	21
3.4.4 ANÁLISIS POR CAPACIDADES DE RESILIENCIA	21
3.5 NIVELES DE PRIORIDAD Y ESTRATEGIA DE INTERVENCIONES DIFERENCIADAS	26
3.5.1 UNIDAD NIVEL 1 - INTERVENCIÓN DE PRIORIDAD 1	26
3.5.2 UNIDAD NIVEL 2 - INTERVENCIÓN DE PRIORIDAD 2	27
3.5.3 UNIDAD NIVEL 3 - INTERVENCIÓN DE PRIORIDAD 3	27
3.5.4 UNIDAD NIVEL 4 - INTERVENCIÓN DE PRIORIDAD 4	27
3.5.5 UNIDAD NIVEL 5 - INTERVENCIÓN DE PRIORIDAD 5	28
3.6 MÉTODO DE VALIDACIÓN	28
<b>4. ESTUDIO DE CASO: COLEGIOS PÚBLICOS DE LIMA METROPOLITANA.</b>	<b>29</b>
4.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA Y ALCANCE - AMBITO DE ESTUDIO	29
4.2 RECOLECCIÓN, SISTEMATIZACIÓN DE DATA Y ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS	29
4.3 IDENTIFICACIÓN DE FACTORES RELEVANTES PARA LA PRIORIZACIÓN	30
4.3.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE SOCIAL DE PRIORIZACIÓN	30
4.3.2 DETERMINACIÓN DE NIVELES DE IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS FACTORES DE RIESGO	31

<b>4.4 INDICADORES DE RIESGO</b>	<b>34</b>
4.4.1 INDICADORES DE DAÑO FÍSICO	34
4.4.2 ÍNDICE SOCIAL DE PRIORIZACIÓN (ISP)	36
<b>4.5 NIVELES DE PRIORIDAD Y ESTRATÉGIA DE INTERVENCIONES DIFERENCIADAS</b>	<b>50</b>
4.5.1 CONDICIONANTES PARA LA CLASIFICACIÓN DE PRIORIDADES	51
4.5.2 NIVELES DE PRIORIDAD	51
4.5.3 NIVELES DE INTERVENCIONES	54
<b>5. VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA:</b>	<b>59</b>
5.1 Comparación 1: priorización M1 vs M2	60
5.2 Comparación 2: priorización M1 vs M3	63
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>71</b>
<b>7. REFERENCIAS</b>	<b>73</b>

**ANEXOS I – Base de Datos de Colegios**

**ANEXOS II – Funciones de Transformación de los Factores de Riesgo**

**ANEXOS III – Clasificación de Colegios por Niveles de Prioridad**

**ANEXOS IV – Material del Taller**

**ANEXOS V – Resultados de análisis de riesgo de la estrategia PLAN LIMA**

**ANEXOS VI – Resultados de análisis de riesgo de la estrategia DRELM**

**ANEXOS VII – Resultados de análisis de riesgo de la estrategia PUCP**

**ANEXOS VIII – Cronograma del Plan de trabajo para la tesis**

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Mapa de actores, nivel de influencia e interés en la Gestión de Riesgos de Colegios.	8
Figura 2. Escalas de análisis del riesgo sísmico y problemas asociados en Lima (Santa Cruz, 2015).	12
Figura 3. Desarrollo y resultados del trabajo participativo para el diagnóstico del riesgo sísmico en una zona representativa de Lima.	12
Figura 4. Filosofía de la Metodología de Priorización	17
Figura 5. Diagrama de Flujo de la Metodología de Priorización de Unidades.	19
Figura 6. Función de Transformación	22
Figura 7. Variabilidad de los pesos relativos de los FR.	33
Figura 8. Histograma de frecuencias del Área Libre de las unidades.	39
Figura 9. Histograma de frecuencias de la Cantidad de Servicios Básicos de las unidades.	39
Figura 10. Histograma de frecuencias del Número de Vías más cercanas de las unidades.	40
Figura 11. Histograma de frecuencias de la Distancia a la Vía más cercana de las unidades.	40
Figura 12. Histograma de frecuencias de la Densidad Estudiantil de las unidades.	40
Figura 13. Histograma de frecuencias de la Densidad Poblacional de las Zonas Censales a las que pertenecen las unidades.	41
Figura 14. Histograma de frecuencias de los Estratos Socio-Económicos de las unidades.	41
Figura 15. Histograma de frecuencias del nivel de Organización de las APAFAS de las unidades.	41
Figura 16. Mapa de Espacio para Instalaciones y Almacenamiento Post Desastre.	42
Figura 17. Mapa de Lima Metropolitana con el Factor de Riesgo de Cobertura de Servicios Básicos	43
Figura 18. Mapa de Lima Metropolitana con las unidades y características de accesibilidad (distancia a vías).	44
Figura 19. Mapa de Lima Metropolitana con las unidades y características de accesibilidad (número de vías).	45
Figura 20. Mapa de Lima Metropolitana con las unidades y demanda poblacional del entorno.	46
Figura 21. Mapa de Lima Metropolitana con las unidades y demanda estudiantil.	47
Figura 22. Mapa de Lima Metropolitana con las unidades y características del Nivel Socio Económico de la población.	48
Figura 23. Mapa de Lima Metropolitana con las unidades y tamaño proporcional al nivel de organización.	49
Figura 24. Histograma de frecuencias del Índice Social de Priorización (ISP) de las unidades.	50
Figura 25. Priorización de Colegios Públicos de Lima Metropolitana.	52
Figura 26. Cantidad de Pabellones por Niveles de Prioridad.	52
Figura 27. Área construida de pabellones por Niveles de Prioridad.	53
Figura 28. Cronograma de Intervenciones por Niveles de Prioridad.	57

Figura 29. Costo Parcial de Intervención Estructural por Niveles de Prioridad. ....	58
Figura 30. Mapa de Comparación 1 de Metodologías M1 y M2. ....	67
Figura 31. Mapa de Comparación 2 de Metodologías M1 y M3. ....	68
Figura 32. Mapa de Comparación 3 de Metodologías M1 y M4. ....	69

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Factores, problemas y medidas identificadas en el proceso participativo.....	14
Tabla 2. Resumen de Pesos Relativos para cada uno de los encuestados y el promedio final empleado en la metodología.....	33
Tabla 3. Características del escenario sísmicos analizados. (Santa Cruz 2013).....	35
Tabla 4. Características de escenarios sísmicos analizados (Santa Cruz, 2013).....	36
Tabla 5. Estadística de los FR .....	36
Tabla 6. Cantidad de Pabellones (und) por Niveles de Prioridad y tipo de Sistema Estructural.54	
Tabla 7. Cantidad de Área construida(m <sup>2</sup> ) de acuerdo al Nivel de Prioridad y Sistema Estructural. ....	55
Tabla 8. Tipo de Reforzamiento Estructural para cada Nivel de Prioridad.....	55
Tabla 9. Tipo de Intervenciones por Nivel de Prioridad y Sistema Estructural – Fase 1 (1ra intervención para los incremental) .....	56
Tabla 10. Costos unitarios de reforzamiento estructural por m <sup>2</sup> . ....	57
Tabla 11. Tipo de Intervención No Estructural para cada Nivel de Prioridad. ....	58
Tabla 12. M1: Metodología propuesta en esta investigación.....	65
Tabla 13. M2: Metodología alineada con la propuesta recomendada por el Banco Mundial. Clasificación por el nivel de daño en el pabellón crítico del colegio. ....	66
Tabla 14. M3: Metodología alineada con la propuesta recomendada por el Banco Mundial. Clasificación por el nivel de Pérdida Anual Esperada Absoluta por colegio.....	66

# RESUMEN

---

En este trabajo se propone un método para identificar prioridades de intervenciones para la mitigación del riesgo sísmico en el Sistema Educativo Público del Perú. El método se basa en identificar cinco niveles de prioridad para la intervención integral de colegios, de acuerdo a las necesidades y urgencias específicas de cada uno. El objetivo de la priorización se basa en dos criterios. 1) Las estructuras no deben causar muertes, y 2) deben aportar a la resiliencia del Sistema Educativo (alumnos, educadores, administrativos, infraestructura y entorno social).

Se emplean múltiples Factores de Riesgo, identificados para el caso particular del Sistema Educativo. Los factores son cuantificados por parámetros extraídos a partir de una herramienta GIS y transformados a indicadores adimensionales para el Análisis Multicriterio. Se definen métricas de resiliencia y fragilidad estructural, para establecer niveles cuantitativos de riesgo.

La fragilidad estructural ante sismos se mide por el daño probable en términos de pérdidas económicas en dos escenarios particulares y en un análisis probabilístico de riesgo sísmico. La resiliencia es medida con los llamados Indicadores de Contexto que representan directa o indirectamente las capacidades, el potencial y/o las debilidades que tiene cada colegio y su entorno. Estas características colaboran a reducir o incrementar la velocidad de recuperación del sistema ante un desastre (resiliencia) e incluso promueven la inclusión social.

Los colegios que tengan algún pabellón que pueda colapsar (causar daños físicos a sus ocupantes) y que aporten a la resiliencia del Sistema, serán de máxima prioridad. Y los siguientes niveles de prioridad serán producto de la combinación de los criterios mencionados. Las intervenciones asignadas para cada colegio son diferenciadas por nivel de prioridad y tipología de pabellones. El objetivo será reducir la brecha hacia un Sistema Educativo físicamente seguro y con un alto grado de resiliencia.

Se realiza la validación de la propuesta, mediante la comparación cuantitativa y cualitativa de la propuesta con lo empleado por el MINEDU a través de la PRONIED y la DRELM, y la recomendación propuesta por el Banco Mundial.

# 1. INTRODUCCIÓN

---

El Perú es considerado uno de los países de mayor potencial sísmico en el mundo (Bernal & Tavera, 2002). Su capital es Lima y alberga alrededor del 32% de habitantes del país, 9.8 millones (INEI, 2008). En el año 2013 contaba con 1,870 colegios públicos, con un costo total de reposición en infraestructura de S/.1,413 millones y una población estudiantil de más de 600 mil alumnos (Santa Cruz, 2013).

Solo los sismos ocurridos entre los años 1970 y 2009, causaron pérdidas por US\$ 29 mil millones (Valdivia Fernández, 2012). Así mismo, se conoce que el 92% de la infraestructura de colegios públicos quedaría inoperativa después de un sismo ocasional (de 75 a 100 años de periodo de retorno). Bajo este mismo escenario, las pérdidas directas alcanzarían los S/.587.2 millones, superando por 11 veces el fondo de emergencia del año 2013 (Santa Cruz, 2013). En este contexto, el Sistema Educativo quedaría inoperativo de manera indeterminada.

Existen soluciones aisladas para mitigar los riesgos de cada componente del Sistema Educativo referidas a la gestión prospectiva, correctiva o reactiva (simulacros, capacitaciones, reforzamiento estructural, etc.). Pero no se cuenta con una metodología integral para realizar intervenciones de mitigación del riesgo de manera holística. La limitada cantidad de recursos exige la priorización de dichas intervenciones, considerando el gran número de colegios, variables ingenieriles, urbanísticas, económicas y sociales.

## 1.1 ANTECEDENTES

La toma de decisión respecto a priorizar, en el marco de la Mitigación de Riesgos, es muy variada en cada contexto. Existen varios enfoques disciplinarios como los técnicos, económicos, sociales, organizacionales, entre otros.

Existen procedimientos, en otros países, para priorizar intervenciones de mitigación en colegios, mediante parámetros técnicos y socioeconómicos (FEMA, 2003; ATC, 2009; Grant, et al., 2007; Tesfamariam & Wang, 2012; Grimaz, et al., 2011). En el Perú, no se ha encontrado evidencia de que los trabajos de reforzamiento realizados en colegios hayan seguido un procedimiento similar a lo anterior.

Para afrontar en simultaneo varios criterios o variables, se emplean herramientas de toma de decisiones del tipo multi-criterio (MCDM, por sus siglas en inglés). Estas herramientas se han utilizado para priorizar el reforzamiento de puentes viales (Majid & Yousefi, 2012), para seleccionar métodos de reforzamiento estructural (Caterino, et al., 2009; Giovinazzi & Pampanin, 2007), para priorizar el reforzamiento de puentes y túneles en la gestión de la emergencia en Lisboa (Bana-e-Costa, et al., 2008), para el ordenamiento territorial de industrias (Rikalovic, et al., 2014), para priorizar inversiones en la salud pública (Marsh, et al., 2013) e incluso para la gestión de la energía e introducción tecnología nuclear avanzada (Kunsch, 1990).

En el Perú es común que se priorice de manera disciplinaria y aislada de acuerdo a la institución a cargo. En el año 2009, el MINEDU inició el "Programa Nacional de Recuperación de las Instituciones Públicas Educativas Emblemáticas y Centenarias", en las principales ciudades del país. En el 2014 se presentó la "Estrategia de corto plazo para la atención inmediata la infraestructura educativa en Lima Metropolitana en el 2015". Estos proyectos evalúan prioridades de acuerdo a la fragilidad estructural que presenta cada colegio, y no contemplan una evaluación holística. Si bien es cierto que estos esfuerzos son valiosos, ha habido poco espacio para el trabajo multidisciplinario con articulación interinstitucional y participativa.

Es necesario plantear estrategias de priorización a través del diálogo y trabajo multidisciplinario. Es decir, se debe promover la generación de propuestas que contemplen los enfoques de las diversas disciplinas involucradas, y que plantee un fundamento holístico, consistente y coherente para una adecuada y efectiva gestión del riesgo (Cardona A., 2001). Se deben contemplar con un enfoque integral y

multidisciplinario las variables técnico-ingenieriles, urbanísticas y socioeconómicas ((Barbat, et al., 2010; Santa Cruz, 2015).

Este trabajo propone una metodología para determinar niveles de prioridad para la intervención de infraestructura educativa vulnerable a eventos sísmicos. El caso de estudio será el de colegios públicos de Lima Metropolitana. La metodología se basará en el análisis de variables ingenieriles, urbanísticas, sociales, económicos y geográficas, por medio de indicadores cuantitativos, y el uso de herramientas GIS y del tipo MCDM.

## **1.2 OBJETIVOS**

El objetivo general del proyecto es priorizar intervenciones de mitigación del riesgo sísmico en colegios públicos de Lima, integrando variables físico-estructurales con variables de resiliencia e inclusión social.

Los objetivos específicos del proyecto son:

- Revisar y sistematizar la información existente de la PUCP y del MINEDU acerca de colegios públicos de Lima.
- Elaborar una metodología de priorización para intervenciones de mitigación del riesgo sísmico de colegios en base a propuestas existentes, integrando indicadores urbanos y socioeconómicos.
- Aplicar la metodología propuesta a colegios públicos de Lima, considerando los resultados obtenidos en la evaluación de riesgo sísmico de colegios de Lima realizada por la PUCP.
- Validar la metodología propuesta por medio de la comparación con otras metodologías utilizadas por entidades nacionales e internacionales (MINEDU, Banco Mundial).

## **1.3 ALCANCES**

Se propondrá una metodología para priorizar intervenciones de mitigación del riesgo sísmico en colegios. Para ello se combinarán los indicadores de riesgo sísmico de colegios obtenidos por la PUCP, con otros indicadores de contexto. Para validar la metodología propuesta, se compararán los resultados con otras metodologías

utilizadas por dos entidades gubernamentales (PRONIED-MINEDU y DRELM-MINEDU) y una organismo internacional (Banco Mundial).

#### **1.4 HIPÓTESIS**

La combinación de indicadores físico-estructurales de riesgo sísmico con variables de contexto, sociales y económicas permitirá priorizar intervenciones integrales eficientes para la mitigación del riesgo sísmico de colegios públicos.

## 2. MARCO TEÓRICO

---

El Sistema Educativo Público, referido al nivel de colegios y para fines de este trabajo, está compuesto por la infraestructura, educadores, alumnos y administrativos que mantienen operativo (de manera continua) el aprendizaje de su alumnado. Un colegio público es la institución conformada por uno o varios bloques o pabellones que tienen comportamiento estructural independiente.

Estudios recientes de priorización de intervenciones de reforzamiento estructural se han basado en el análisis del riesgo de infraestructura (Grant, et al., 2007; Grimaz, et al., 2011; Tesfamariam & Wang, 2012). La evaluación del riesgo sísmico se desarrolla a partir del análisis de sus tres componentes: peligro, vulnerabilidad y exposición.

Los resultados del análisis probabilista de riesgos propuesto por la Superintendencia de Banca y Seguros (CISMID, 2005) son la Pérdida Anual Esperada (PAE) y la Pérdida Máxima Probable (Probable Maximum Loss o PML, por sus siglas en inglés). Estos son indicadores que miden el nivel de riesgo en términos económicos. Sin embargo, es necesario considerar indicadores de contexto, que reflejen otros aspectos de vulnerabilidad de sistemas complejos: factores sociales, económicos y urbanos (Barbat, et al., 2010; Cardona A., 2001; Santa Cruz, 2015).

Por otro lado, para enfrentar el problema del gran inventario de colegios que deben ser reforzados a nivel de ciudad o país, se han propuesto metodologías que priorizan las intervenciones. Grant y otros (Grant, et al., 2007) (2007) propusieron una metodología de priorización de colegios en Italia basándose en la capacidad estructural y el número de alumnos. Grimaz y otros (Grimaz, et al., 2011) propusieron un procedimiento similar para la priorización de colegios públicos, también en Italia.

La reducción del riesgo sísmico se puede realizar mediante el reforzamiento con base en objetivos de desempeño. Muñoz y otros (Muñoz & Blondet, 2007) adaptaron los objetivos de reforzamiento estructural propuestos por el reporte FEMA 356 (ASCE, 2000) para edificaciones peruanas, considerando la capacidad económica del Estado. Publicaciones recientes (FEMA, 2003; ATC, 2009) recomiendan llevar a cabo las acciones de reforzamiento de manera incremental, durante los periodos de inactividad escolar preprogramados (periodos de vacaciones y/o mantenimiento). Esto permite lograr los objetivos de desempeño en el mediano y largo plazo, y minimizar las pérdidas asociadas a la interrupción del funcionamiento normal del colegio.

En los anexos se presentan las descripciones a detalle y los conceptos relacionados con las metodologías mencionadas, para luego ser utilizadas en el desarrollo de la metodología propuesta.

### 3. METODOLOGÍA DE PRIORIZACIÓN PARA INTERVENCIONES DE MITIGACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN COLEGIOS PÚBLICOS

---

#### 3.1 IDENTIFICACIÓN DE ACTORES Y DISCIPLINAS INVOLUCRADAS

Se identificaron actores y disciplinas involucradas en el tema de investigación, para conocer los distintos principios, perspectivas y expectativas que tienen con respecto a un proyecto de intervención en la infraestructura pública. La Figura 1 muestra los actores, ubicados por su Nivel de Influencia para ejecutar un proyecto de intervención y el Nivel de Interés que tienen respecto al tema de Mitigación de Riesgos en Colegios Públicos. Se nota que el MINEDU es el principal interesado y tiene alto poder de influencia, y la sociedad cuenta con el mismo nivel de interés, pero sin poder de influencia directa.

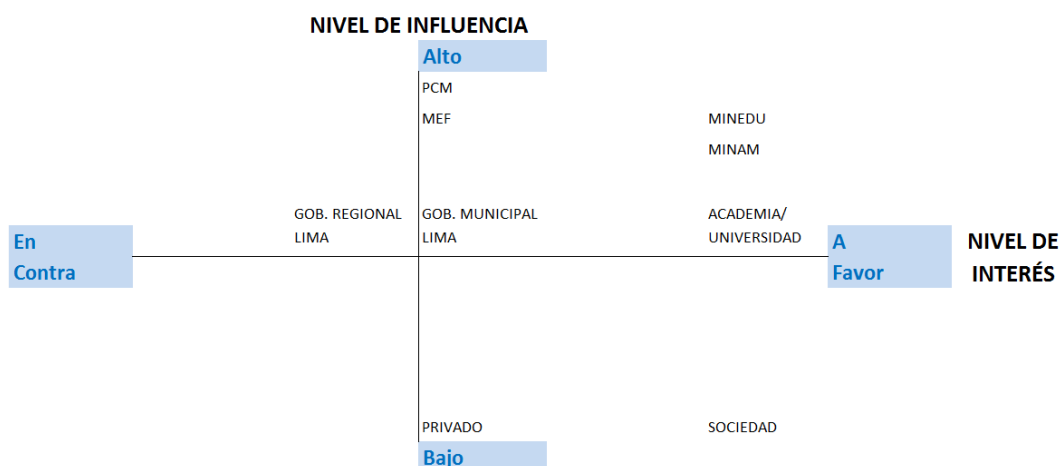


Figura 1. Mapa de actores, nivel de influencia e interés en la Gestión de Riesgos de Colegios.

A partir de los estudios revisados y la identificación de los actores, se pudo esquematizar una composición y adaptación preliminar de una metodología y posibles factores involucrados.

El trabajo realizado se basa en la metodología de Gestión del Riesgo de Desastres Basado en la Comunidad (Community –Based Disaster Risk Management o CBDRM, por sus siglas en inglés) Dicho enfoque sigue la filosofía “Bottom – up” que da mayor reconocimiento de la necesidad de una participación activa de la comunidad en los proyectos de desarrollo que permiten una gestión de riesgos sostenible (Fraser et al. 2006).

En tal sentido, se realizó un taller participativo para esclarecer e incluir los requerimiento mínimos (técnicos, económicos, sociales, etc.) que debe contemplar la metodología. Así mismo se buscó la compatibilidad con los procesos administrativos actuales del Gobierno Peruano. Al finalizar este proceso, se armonizan los lineamientos, objetivos, procesos y resultados de la metodología(Santa Cruz, 2015).

### **3.1.1 TALLER PARTICIPATIVO EN REDUCCIÓN DE RIESGO SÍSMICO EN LA POBLACIÓN ESTUDIANTIL**

El “Primer Taller en Gestión del Riesgo Sísmico en colegios públicos” fue realizado en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) en el 2014. Participaron funcionarios del Ministerio de Educación (MINEDU), del Programa Nacional de Infraestructura Educativa (PRONIED), de la Dirección Regional de Educación de Lima Metropolitana (DRELM), distintos agentes de la academia, incluyendo investigadores de los departamentos de Ingeniería Civil, Psicología, Arquitectura y de la Escuela de Posgrado de la PUCP.

El desarrollo del taller sirvió para sensibilizar a los tomadores de decisión sobre el impacto de posibles eventos sísmicos en la población estudiantil, examinar soluciones alternativas para la reducción de riesgo sísmico de los colegios públicos, y consensuar factores imprescindibles en la priorización de intervenciones para mitigar el riesgo. Se trabajó con una visión interdisciplinaria, mediante el intercambio de experiencias, diálogo y trabajo en equipos.

El taller se realizó en dos sesiones: la primera sesión fue dedicada al diagnóstico de riesgos en todas las escalas, por medio de la identificación de los problemas de gestión de riesgos sísmicos y sus principales factores. La segunda sesión se concentró en la propuesta de una metodología que formule una estrategia adecuada para la intervención integral y la reducción del riesgo. El material empleado para la realización del taller (mapas, listas de colegios, indicadores de las zonas analizadas, relatoría e informe del taller) se presenta en los Anexos de este trabajo.

### **3.1.1.1 PRIMERA SESIÓN**

Los participantes presentaron algunos aspectos principales del riesgo sísmico de la población estudiantil. Luego se elaboró un diagnóstico participativo sobre la situación de los colegios y el riesgo de la población estudiantil.

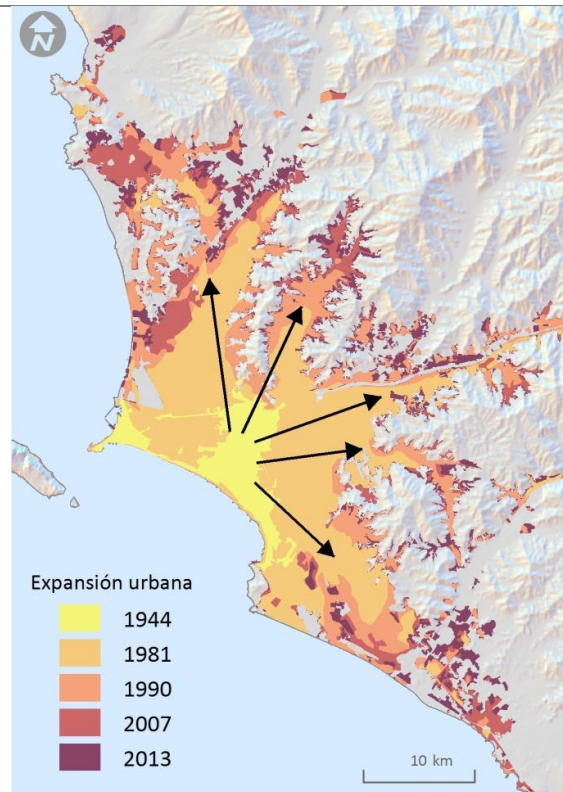
Se presentó el Censo Nacional de Infraestructura Educativa del 2013, implementado por el MINEDU, y el estudio de riesgo sísmico de Colegios, realizado por la PUCP. Luego se presentaron los problemas existentes del entorno urbano y el factor social de segregación referido a la inclusión social. Finalmente, se presentaron los problemas existentes en todas las escalas de la población estudiantil de Lima, que van desde el nivel micro, referido a alumnos y profesores de clase, hasta el nivel macro que comprende la Ciudad (ver Figura 2).

Los riesgos se presentan en el aula de clase como problemas con las distribuciones de áreas seguras, rutas de emergencias, mobiliario, incluso insuficiente preparación en términos de simulacros de sismos (Figura 2d). También se existen riesgos en la infraestructura escolar debido a la antigüedad, escaso o inexistente mantenimiento, y malas prácticas constructivas (Figura 2c). Con respecto a la escala urbana y de la ciudad, se nota que no existe una planificación integral, y el desarrollo desordenado incontrolado de la sociedad generan peligros antrópicos importantes (Figura 2a y 4b).

El diagnóstico participativo se realizó en trabajos por grupos multidisciplinarios para identificar los problemas y sus factores desde diferentes enfoques y áreas de conocimiento. Se suministraron mapas y tablas con información relacionada a las diferentes escalas de los colegios y zonas representativas de Lima. La información contemplaba temas relacionados al tipo de infraestructura escolar, tipo de suelo, uso de suelo, medios de comunicación, niveles socio-económicos y cantidad de alumnos

de cada colegio. Y las zonas fueron tres zonas de expansión de la ciudad, ubicados en los distritos de Comas, San Juan de Lurigancho y Villa el Salvador.

(a)  
Ciudad

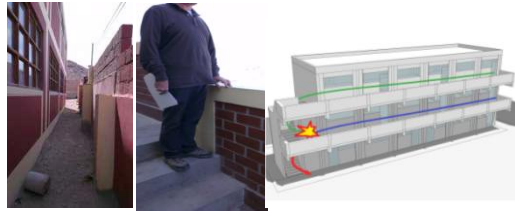


Segregación socio-espacial debido a patrones difusos (Fernández de Córdova, 2012)

(b)  
Áreas urbanas



Inadecuada organización vecinal, malas prácticas constructivas y uso de suelos



(c)  
Colegio



Rutas de evacuación inapropiadas, criterios de diseño sismorresistente obsoletos y niveles aceptables de conocimiento de riesgos en algunos colegios



(d)  
Salón de clase

Muebles que no cumplen con medidas de seguridad

Figura 2. Escalas de análisis del riesgo sísmico y problemas asociados en Lima (Santa Cruz, 2015).



Figura 3. Desarrollo y resultados del trabajo participativo para el diagnóstico del riesgo sísmico en una zona representativa de Lima.

Se determinaron factores en relación a las debilidades y capacidades. Las debilidades entendidas como aquellos factores que pueden agravar el impacto físico, psicológico y social. Las capacidades como los factores que pueden reducir el impacto en un evento sísmico. Los factores positivos fueron escritos en tarjetas verdes y los negativos en rojo (ver Figura 3). Los factores identificados, sus problemas relacionados y medidas de mitigación se resumen en la Tabla 1.

### **3.1.2 SEGUNDA SESIÓN**

Se presentaron algunas medidas de intervención para la reducción de riesgos efectuadas para colegios. Las intervenciones fueron las abordadas desde distintos enfoques como el refuerzo estructural, la planificación de rutas de evacuación y zonas de seguridad, preparación y respuesta de la comunidad, y equipos de apoyo psicológico post desastre.

Luego se desarrolló un trabajo grupal para proponer una estrategia para implementar intervenciones de mitigación de riesgos de manera sustancial e integral. Se reconocieron los altos niveles de riesgo en los colegios y los limitados recursos (tiempo, dinero, entre otros). Se identificó que el objetivo de la estrategia debe ser la implementación de intervención por prioridades, que respondan a:

1. Los colegios que podrían ser más útiles durante el trabajo de respuesta a la emergencia; y
2. Los colegios que tengan mayor posibilidad de daño a los estudiantes.

La estrategia estaría enfocado a dar prioridad a los colegios con mejor capacidad y preparación (buenas condiciones de accesibilidad, servicios de calidad, zonas libres bien distribuidas y la buena organización de la comunidad.), y a los colegios más débiles o que agravarían el impacto post desastre (debilidad estructural, bajo nivel socio-económico y rutas de emergencia y zonas seguras mal planificadas). Para alcanzar el objetivo planteado, los participantes sugirieron que a partir de los factores de riesgo se debe establecer un índice o ranking para medir la urgencia o necesidad de intervención, y posteriormente establecer una lista de colegios priorizados.

Tabla 1. Factores, problemas y medidas identificadas en el proceso participativo.

Factores	Problema	Medidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de suelo</li> <li>- Fragilidad estructural</li> <li>- Densidad poblacional</li> </ul>	<p>Potencial daño físico debido a caída de objetos pesados o colapso parcial de la estructura. Interrupción de clases.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Técnica del pórtico complementario</li> <li>- Enchaquetado de columnas</li> <li>- Instalación de dispositivos de disipación sísmica</li> <li>- Reglamentos específicos para la rehabilitación de construcciones existentes y uso de nuevos materiales</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distribución de edificaciones y áreas libres dentro del colegio</li> <li>- Implementación de salidas de emergencia y zonas de seguridad</li> </ul>	<p>Potencial daño físico debido a caídas, golpes y congestión de estudiantes durante la evacuación</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejoramiento de pasadizos y rampas que no cumplen con los requerimientos de la norma</li> <li>- Actividades de sensibilización para estudiantes con el objetivo de mejorar el cumplimiento de instrucciones durante la evacuación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accesibilidad y cercanía a vías principales</li> <li>- Servicios básicos</li> <li>- Nivel socioeconómico relacionado a la segregación y baja compacidad</li> </ul>	<p>Demora y deficiencia en la respuesta humanitaria, dificultades en los procesos de evacuación durante la respuesta de la emergencia y etapa de rehabilitación</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adopción de modelos urbanos de ciudades sostenibles con compacidad y soluciones de inclusión social</li> <li>- Mejora en el sistema de abastecimiento de agua, saneamiento, electricidad y sistemas de comunicación</li> <li>- Empoderamiento cívico y social para hacer frente a los desastres</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nivel de preparación y organización de la comunidad vecinal</li> </ul>	<p>Impacto psicológico debido a la mala gestión de la crisis de las autoridades locales y ayuda humanitaria</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacitación de profesores, agentes de salud, padres de familia, iglesia y ONG's a través de "intervenciones comunales"</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reglamentación del Ministerio de Economía y Finanzas para Proyectos de Inversión Pública</li> </ul>	<p>Dificultad para la obtención de fondos para proyectos de reforzamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saneamiento físico-legal de la propiedad</li> </ul>

En el ejercicio de identificar prioridades en las zonas representativas, se concluyó que los algoritmos y criterios no son confiables al cien por ciento cuando no se considera la distribución geográfica real de los colegios. También se entendió que la priorización debiera contar con algunas restricciones para asegurar que en el caso que una

estructura debido a su alta fragilidad, independientemente de sus capacidades, sean prioritarios. Este es el caso de las estructuras de adobe, que en un evento sísmico, el nivel de daño es tal que no garantiza la seguridad de sus ocupantes. Por tal motivo, debe ser atendido de emergencia, de forma limitada pero suficiente para asegurar la vida.

### **3.1.2.1 CONCLUSIONES DEL TALLER**

El diagnóstico de riesgo de la población estudiantil y la formulación de la estrategia de reducción de riesgos requieren un enfoque integral y participativo que no sólo considera el riesgo como la suma de varios factores, pero como sus interacciones y la convivencia. La identificación de las relaciones espaciales y territoriales de los alrededores de las escuelas públicas es esencial para garantizar las estrategias de mitigación de riesgos de masa y eficientes.

Para afrontar la situación de alto riesgo y recursos limitados se requiere una metodología para la priorización. La metodología debe ser basada en indicadores o rankings que involucren factores relacionados a las debilidades o capacidades de todos los niveles de generación de riesgo (aula, colegio, medio ambiente y ciudad). Es imprescindible analizar los factores que pueden tener un impacto físico, psicológico y social en la población estudiantil. La metodología debiera separar colegios que no garanticen la integridad física de la población estudiantil en eventos sísmicos similares al de Pisco en el 2007. Y la propuesta de intervenciones prioritarias deben contemplarse en una intervención total por colegio, y no por bloques, ya que así lo exige la normativa de proyectos de inversión del estado.

Los procesos de regulación y aprobación de los proyectos públicos son los puntos críticos para proponer intervenciones, sobre todo para los casos urgentes. Se requieren procesos y normas urbanas y de construcción específicos para la compensación legal de la propiedad, una mejor conectividad y la articulación de los espacios públicos, así como la adaptación gradual de los edificios escolares. Estas medidas mitigar el riesgo al que la población escolar se expone a, mediante la reducción de las debilidades y aumentar la resiliencia y capacidades. Del mismo modo, se requiere un compromiso político como proyectos de emergencia deben estar exentos del proceso de aprobación exigente que otros proyectos de inversión pública deben someterse.

Por último, el taller fue una oportunidad para el encuentro interdisciplinario que permitió alcanzar un consenso sobre la gestión de riesgos de manera participativa involucrando diferentes áreas del conocimiento. Esta reunión también ha permitido a la comunidad académica de la PUCP de diferentes áreas para tener una visión más estrecha en el tema transversal de la seguridad de los estudiantes vulnerables y planteó la necesidad de seguir haciendo reuniones similares para el intercambio.

### **3.2 FILOSOFÍA**

La metodología determina prioridades e intervenciones con fundamento en el análisis de la fragilidad, exposición y resiliencia del Sistema Educativo en observación, y fue obtenida a partir del taller participativo (Santa Cruz, 2015). La metodología tiene el principio fundamental de priorizar la intervención de medidas de mitigación en colegios que cumplan con los siguientes criterios:

1. Las estructuras de los colegios que pueden ocasionar daños .
2. Las unidades aportan a la resiliencia e igualdad social del sistema.

Las unidades que muestren un desempeño congruente a los dos criterios, son clasificados como máxima prioridad. Luego prosigue una combinación de niveles intermedios que corresponde al cumplimiento de al menos uno de los criterios. Finalmente, la última prioridad la tiene la institución que no cumpla ninguno de los criterios mencionados.

En la Figura 4 esquematiza la filosofía del método. Los niveles de mayor y menor prioridad se ubican próximos al color rojo y verde, respectivamente. Las abscisas representan el nivel de capacidades que aportan a la resiliencia de la unidad, y las ordenadas, el nivel del potencial de daño físico que tiene. La metodología concluye con la asignación de intervenciones diferenciadas de acuerdo al nivel de prioridad, necesidades y urgencias identificadas para cada caso.

Las intervenciones son integrales, es decir incluyen el reforzamiento estructural de los bloques todos que conforman un colegio para lograr un desempeño adecuado, en el que ninguno atente contra la vida. Además se demanda el reforzamiento de las capacidades del colegio, en orden al alcance que tiene el MINEDU. De acuerdo al nivel de información que se cuenta, se propone la intensificación de capacitaciones en

el marco de la gestión reactiva, como los simulacros y el seguimiento del desempeño de cada colegio en el tiempo.

El objetivo de las intervenciones es minimizar el daño físico de los ocupantes o pérdida de vidas y contar con las condiciones para restablecer inmediatamente las actividades originales del sistema educativo. En algunos casos, se propone realizar un refuerzo estructural limitado para uno de los bloques. El fin es proveer tiempo para su evacuación sin ocasionar daños físicos. Estos casos no ameritan la inversión requerida para un reforzamiento completo que logre niveles óptimos de desempeño.

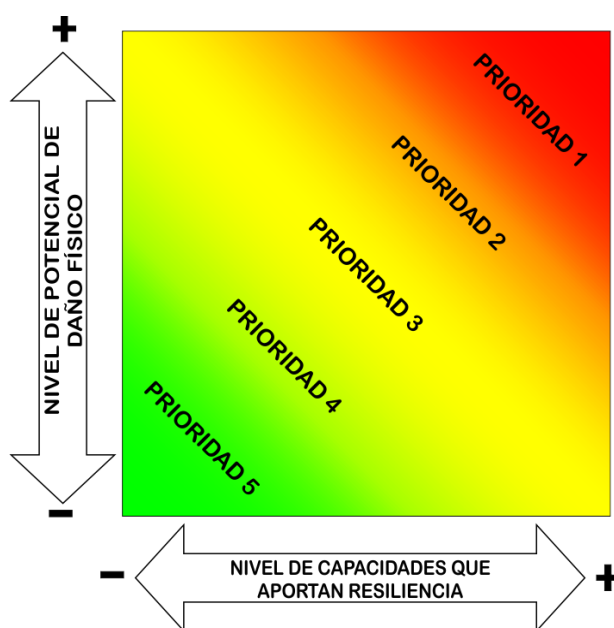


Figura 4. Filosofía de la Metodología de Priorización

### 3.3 LONGITUD Y RESOLUCIÓN DE DATA

La información requerida depende del peligro, sistema en exposición y la resiliencia.

Para el peligro, la longitud debe ser la data histórica de eventos ocurridos, capaz de generar un estudio de peligro; con resolución geográfica en metros e intensidad en décimas de la magnitud de la gravedad.

Para el sistema la longitud de la data debe comprender todas las unidades del sistema de acuerdo al alcance territorial en estudio. La resolución expondrá las características arquitectónicas, ingenieriles de cada estructura o bloque que conforman el colegio. Dichas características deberán ser suficientes para establecer niveles de fragilidad individual.

Para la resiliencia, la longitud y resolución de data debe ser capaz de cuantificar apropiadamente los indicadores de cada factor de riesgo, establecidos para su medición. En general la data necesaria será información estadística, con potencial para generar indicadores socio-económicos, niveles de segregación e inclusión social, nivel de seguridad ciudadana, vías de accesos, etc. Finalmente toda la información recolectada debe tener la capacidad de ser tratada en un sistema de información geográfica para su análisis y manejo computacional.

### **3.4 PROCEDIMIENTO DE LA METODOLOGÍA**

A partir de la información, herramientas y métodos disponibles se ensayaron múltiples procedimientos para conseguir los objetivos planteados. La prueba fue iterativa hasta lograr un método ordenado, comprensible y práctico de implementar. La metodología se esquematiza de manera resumida en la Figura 5. Para iniciar la priorización, es necesario definir el sistema en exposición, el Sistema Educativo, y el alcance territorial, Lima Metropolitana. Luego se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se sistematiza la data con toda la información recopilada sobre los colegios y sus bloques.
2. Se identifican los Factores de Riesgo (FR). Factores que los tomadores de decisión consideran importantes en las políticas públicas relacionados a la Gestión de Riesgo y el Sistema Educativo.
3. Los factores son estudiados en dos análisis.
  - a. El análisis físico estructural. Se determina el daño físico-estructural en términos monetarios de las estructuras por eventos sísmicos.
  - b. El análisis por capacidades. Se evalúan los FR relacionados a las condiciones del entorno y características que aporten a la resiliencia del sistema. Se propone una métrica para la resiliencia a partir de indicadores, llamado “Índice Social de Priorización” (ISP).
4. Las unidades pasan por condicionantes para ser categorizados por niveles de prioridad. La clasificación va acorde a la filosofía. Las unidades de mayor prioridad, serán las que tengan bloques que sean potencialmente peligrosos para los ocupantes, y que presenten un ISP alto.
5. Se definen intervenciones diferenciadas correspondientes a cada nivel de prioridad y urgencias particulares a cada unidad y/o bloque. Esto debe garantizar el mínimo

daño físico de los ocupantes y potenciar las condiciones para restablecer con prontitud las actividades originales del sistema educativo.

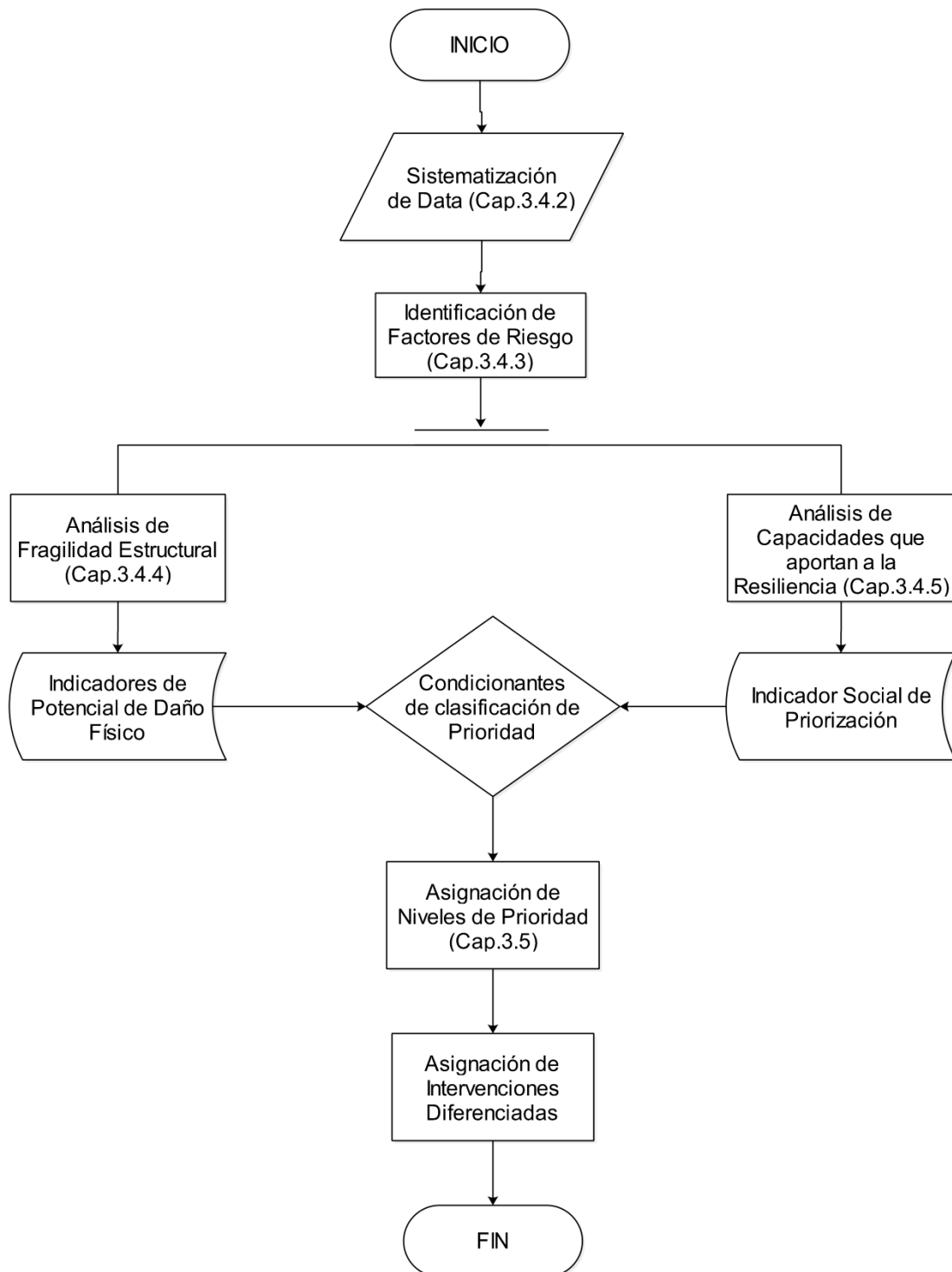


Figura 5. Diagrama de Flujo de la Metodología de Priorización de Unidades

El sistema será el conjunto de colegios públicos, o en su defecto, puede ser replicado en otro tipo de instituciones que hacen funcionar un servicio social del sector público. Los sectores pueden ser, además de educación, el sector salud, seguridad, etc. El alcance territorial del sistema será una ciudad, región, departamento o país, que agrupe el conjunto parcial o total de colegios o infraestructura del sistema.

#### **3.4.1 RECOLECCIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS**

La información debe ser una fuente confiable y completa en su longitud y resolución. Esta información se puede obtener de las instituciones del propio Sector en cuestión, de las universidades que realicen investigación relacionado al tema, el instituto encargado de manejar las estadísticas del país, instituciones extranjeras, etc. La base de datos la conforman cuando menos los siguientes estudios previos:

- Estudio de estimación de daño físico estructural de las edificaciones.
- Estudio demográfico y socioeconómico del territorio, y con indicadores sobre la calidad de vida y nivel de desarrollo de la población.
- Estadística específica de las edificaciones del sector, con características importantes como la cantidad de usuarios, capacidad máxima de atención, calidad de servicios e instalaciones, nivel de preparación ante emergencias o desastres, etc.
- Ubicación georeferenciada de las edificaciones
- Estudio Vial, con mapas y clasificación de vías de transporte, ubicadas dentro del límite territorial.

Toda la información recopilada de los estudios, estadísticas y demás, deben contar con el potencial para su representación en un Sistema de Información Geográfico (SIG).

#### **3.4.2 IDENTIFICACIÓN DE FACTORES RELEVANTES PARA LA PRIORIZACIÓN**

Es fundamental incluir la perspectiva de los evaluadores de proyectos o revisores del Estado, y complementarlo con la de los especialistas e investigadores relacionados. Para ello se debe realizar un taller participativo, con los personajes mencionados. Se definirá la Filosofía del método, los FR importantes para el Sistema y Alcance, y los Pesos de Importancia Relativa de los factores para su manipulación cuantitativa en el método.

También se podrá discutir y consensuar los posibles indicadores que podrían cuantificar directa o indirectamente a cada uno de los FR. Se emplearan herramientas como ejemplos reales para la discusión interdisciplinaria, exposiciones referidos al caso en estudio y contexto social, encuestas para valorar los pesos relativos (basado en parte de una herramienta del MCDM), etc.

### **3.4.3 ANÁLISIS FÍSICO ESTRUCTURAL**

La evaluación técnica es muy importante por las consecuencias negativas que podría causar si se prescinde de ella, como la pérdida de vidas. El análisis físico estructural se puede representar por indicadores de riesgo a partir de un análisis probabilístico de riesgo o por un análisis determinístico por escenarios

#### **3.4.3.1 ANALISIS PROBABILÍSTICO DE RIESGO**

A partir del análisis probabilístico de riesgo (de todas las edificaciones en análisis) se determinan niveles de pérdidas promedio anuales. La pérdida es en términos económicos o porcentuales respecto al costo de reposición total de cada bloque. Este concepto considera la probabilidad de ocurrencia de cada evento sísmico simulado para el cálculo. A este resultado se le conoce como la Prima Técnica de Aseguramiento o Pérdida Anual Esperada por el peligro bajo el que ha sido analizado.

#### **3.4.3.2 ANÁLISIS DETERMINÍSTICO DE RIESGO**

En el análisis determinístico se pueden obtener las pérdidas a las que incurren los bloques estructurales ante un evento aislado de una determinada probabilidad de ocurrencia. Este es el nivel de desempeño estructural por escenarios. En la normativa se contemplan niveles de desempeño mínimos de acuerdo a la importancia de la estructura por su uso. Una estructura calificada como esencial no debe colapsar ante ningún evento y presentar condición de operacional (casi sin daños) en eventos frecuentes, y para eventos ocasionales el daño debe ser controlado.

### **3.4.4 ANÁLISIS POR CAPACIDADES DE RESILIENCIA**

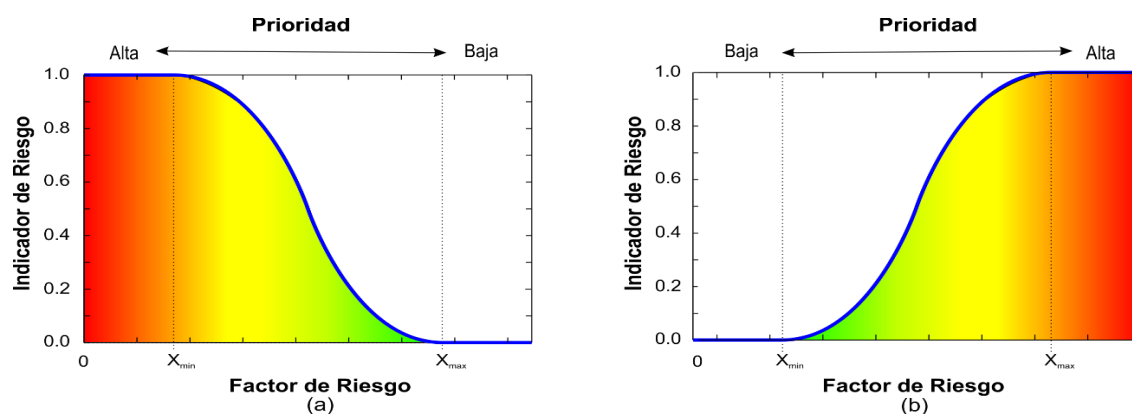
Los FR, excepto el de Propensión al Daño (representado por la Fragilidad Estructural), conforman una métrica de resiliencia y la desigualdad social. Para el caso específico

de Colegios públicos y el Riesgo Sísmico en Lima, se identificó siete FR para generar la métrica.

Los FR son valorados por sus correspondientes parámetros en diferentes unidades de medidas. La combinación y procesamiento en conjunto de todos los FR, se realiza por medio de indicadores adimensionales unitarios, llamados Indicadores de Riesgo (IR). La conversión del parámetro al indicador se realiza a través de una Función de Transformación (FT), independiente para cada FR. Luego se realiza una suma ponderada de los indicadores, con los Pesos de Importancia Relativa (PIR), propio de cada factor. El resultado de dicha suma ponderada será el indicador compuesto multiatributo o multicriterio, que llamaremos Indicador Social de Priorización (ISP).

La Función de Transformación (FT) es una función que convierte el parámetro a un Indicador de Riesgo (IR), unitario adimensional. Cuando el parámetro representa una prioridad alta, el IR tomará el valor máximo de uno (1.0), y en el caso contrario será cero (0) (ver Figura 6).

Existen Factores de Riesgo que a mayor sea el parámetro, mayor será el nivel de prioridad (Figura 6.b), pero también existe el caso contrario en el que un valor menor del parámetro representará mayor interés de priorización (Figura 6.a). Este tema se esquematizará en el caso aplicado del Capítulo 4.



**Figura 6. Función de Transformación**

Los PIR se obtienen de encuestar a los participantes del taller. La encuesta se basa en el método del Análisis del Proceso Jerárquico (PAJ). Éste método es una de las herramientas del MCDM para seleccionar la “mejor” alternativa, a partir de múltiples variables con distintas unidades de medida y valoración.

#### **3.4.4.1 FR 1: Espacio para Instalaciones y Almacenamiento Post Desastre**

Representa el espacio aprovechable después de un desastre. Este factor toma importancia en las acciones post desastre (reconstrucción y vuelta al servicio del sistema educativo). Se puede emplear como zona de acopio, zona para instalaciones de coordinación para la ayuda en respuesta a la emergencia o aulas temporales para impartir clases a los alumnos de colegios inoperativos.

El Área Libre es cuantificado directa o indirectamente a partir de la información disponible (planos del proyecto, datos de fabricación, medición directa o aproximadamente a partir de datos censales). Se puede obtener de los planos de la unidad educativa, también de los datos de fabricación como la diferencia del área del terreno con el área construida en planta, o con la aproximación, a partir de la hipótesis que el área construida en planta corresponde al 70% del área total del terreno y que el 30% restante corresponde al área libre. La medida del factor será en unidades de área.

#### **3.4.4.2 FR 2: Cobertura de Servicios Básicos**

Representa la calidad de las instalaciones y servicios del colegio que constituye, per se, una cualidad imprescindible e importante. Se necesita considerar este factor debido a que en la realidad peruana existen unidades que no cuentan con varios o todos los servicios básicos. Además de asumir mayor importancia cuando las unidades sean empleadas como puntos o centros de referencia para acoger estudiantes y profesores de otras unidades inoperativas post desastre.

Los servicios básicos considerados para esta investigación son: agua, desagüe, luz y telefonía fija. La información necesaria es parte del CIE realizado para las unidades de todo el Perú. Se puede cuantificar por medio de la lectura de la disponibilidad de los servicios básicos de cada unidad. Se asigna valor 1 si la unidad cuenta con el servicio y 0 en el caso contrario.

La Cobertura de Servicios Básicos es cuantificado como la suma ponderada de los servicios con los que cuenta. Se considera peso doble a los servicios de agua y desagüe. Entre los 4 servicios, estos dos contribuyen a la salud física y desarrollo de la vida, dos de las capacidades centrales que se requiere para asegurar una vida digna (Nussbaum, 2012). La medida del factor será en unidades simples.

### **3.4.4.3 FR 3: Accesibilidad**

Representa la facilidad del acceso físico al colegio, traducido en la velocidad de evacuación y de suministro de ayuda. Entonces, garantiza la fluidez de la atención de la emergencia, reconstrucción y reactivación del sistema educativa (suministro de ayuda y comunicación).

Se presenta dos maneras de cuantificar la accesibilidad de una unidad. El número de vías cercanas(1) y la distancia a la vía principal más cercana(2). Ambas alternativas se consideran de igual importancia e influencia en la atención de la emergencia.

#### **3.4.4.3.1 FR 3a: Número de Vías Cercanas**

Representa la facilidad de acceso a la unidad por medio de la cantidad de vías cercanas a su alrededor. A mayor cantidad de vías, mejor ubicada esta la unidad para ser evacuada o atendida.

Se determina con la información estadística vial y de las unidades, además de emplear una herramienta GIS. Con ésta última se contabiliza la cantidad de vías cercanas a cada unidad. Se emplea una distancia de 500 metros a la redonda de la ubicación geográfica de la unidad para la contabilización.

Luego se realiza se realiza la suma ponderada de la cantidad de vías. El nivel importancia de cada vía contabilizada se representa por los pesos asignados según su clasificación: Local (peso 1), Colectora (peso 1.5), Arterial (peso 2) y Expresa (peso 2).

#### **3.4.4.3.2 FR 3b: Distancia a la Vía Principal más Cercana**

Representa la facilidad de acceso al colegio, de manera complementaria a lo anterior, por medio de la menor distancia a la vía principal más cercana. Las vías principales serán las clasificadas como Expresa, Arterial o Colectora.

Nuevamente con la herramienta GIS se medirá la distancia recta más corta de la unidad hacia cada una de las vías principales. Finalmente, el factor es cuantificado como el promedio ponderado de las distancias medidas metros con los pesos empleados en FR 3a.

#### **3.4.4.4 FR 4: Población Estudiantil Expuesta**

Representa el nivel de importancia de cada unidad según la cantidad de ocupantes o beneficiados que atiende actualmente y que se encuentran en exposición.

El factor se cuantifica al dividir la cantidad total de ocupantes que asiste a la unidad (en el total de turnos) y se divide por su correspondiente área construida. La densidad obtenida será en términos de ocupantes/m<sup>2</sup>.

#### **3.4.4.5 FR 5: Demanda de atención post desastre**

Representa el nivel de importancia por la demanda de ayuda post desastre, de los damnificados del entorno. Existe la posibilidad de que las unidades, o algunas de ellas, sean un centro o punto de referencia estratégico para la atención de la emergencia. Su identificación es importante por el rol que asumirán para responder a la emergencia.

El factor se cuantifica por medio de la división de la cantidad de habitantes pertenecientes a los límites de cada zona censal (en la que se ubica la unidad) y el área de dicha zona. La densidad obtenida será en términos de habitantes / m<sup>2</sup>.

#### **3.4.4.6 FR 6: Desigualdad Social**

Representa la importancia de las zonas con mayores desigualdades sociales. Se presume que las zonas con mayor desigualdad (en malas condiciones, bienestar social o calidad de vida baja), refleja mayores debilidades relativas o condiciones que agravarían los efectos directos causados por los desastres.

Este factor es complejo de representar en un solo parámetro, pero se puede emplear la estratificación de ingresos per cápita del Censo 2007. Éste se agrupan en 5 estratos socioeconómicos. A cada unidad se asigna el estrato socioeconómico correspondiente a la zona censal en la que se ubica geográficamente, El estrato 1 indica ingreso per cápita bajo, caso contrario del estrato 5 que indica ingreso alto. Los estratos 2, 3 y 4 indican niveles de ingreso per cápita medio bajo, medio y medio alto respectivamente. Este factor se representa en términos monetarios por persona.

#### **3.4.4.7 FR 7: Nivel de Organización o Sinergia en La Comunidad**

Representa la importancia de los grupos sociales con mayor sinergia en el método. Es el potencial de organización, preparación y compromiso que tiene la comunidad para responder ante emergencias y eventos que ameriten su participación directa para buscar mejoras para sus representados.

Un alto nivel de sinergia demuestra el desarrollo de capacidades trabajo organizado, colectivo y eficiente de la comunidad. En caso de un desastre, el alto nivel de sinergia significa la acción inmediata de ayuda para los damnificados y una rápida recuperación de sus actividades normales.

La organización de los grupos relacionados a cada unidad es complejo de medir. Se estima por medio de la cantidad de logros (bloques o infraestructura construida) obtenidos por la gestión de las personas involucradas en la unidad, dividido entre el total existente. En el caso de colegios, las APAFAS (Asociación de padres de familia) han sido gestoras de varias construcciones para mejorar la calidad de servicio de los colegios.

### **3.5 NIVELES DE PRIORIDAD Y ESTRATÉGIA DE INTERVENCIONES DIFERENCIADAS**

En el consenso final del taller se discutió las condiciones actuales para la implementación de proyectos. La perspectiva de los especialistas de la evaluación de los proyectos en el sector Educación fue un aporte valioso para esta propuesta. Por otro lado la perspectiva de eficiencia del uso de los recurso de los investigadores y académicos fue igual de significativa. Finalmente, la propuesta es una aceptación entre las restricciones legales actuales y la obtención de la máxima eficiencia viable.

Los indicadores obtenidos para cada análisis (Físico Estructural y Por Capacidades) establece características a cada bloque y/o unidad. Estas características indican sus debilidades y fortalezas. A partir de esa información se generan intervenciones diferenciadas para cada nivel de prioridad correspondiente. El objetivo del reforzamiento de los bloques será lograr nivel aceptable de comportamiento (Muñoz & Blondet, 2007).

A continuación se presentan los cinco niveles de prioridad y su intervención diferenciada correspondiente .

#### **3.5.1 UNIDAD NIVEL 1 - INTERVENCIÓN DE PRIORIDAD 1**

Al menos uno de sus bloques está en inminente colapso en un sismo ocasional; es decir, su condición Físico Estructural NO RESGUARDA LA VIDA. La unidad presenta

un ISP alto, cuenta con importantes capacidades que aportan a la resiliencia del sistema.

La intervención será el reforzamiento estructural total de bloques (con objetivos , en caso sea necesario, demolición y construcción nueva. Y repotenciación y seguimiento de charlas y/o talleres que incrementen las capacidades que aporten a su resiliencia.

### **3.5.2 UNIDAD NIVEL 2 - INTERVENCIÓN DE PRIORIDAD 2**

Al menos uno de sus bloques está en inminente colapso en un sismo ocasional; es decir, su condición Físico Estructural NO RESGUARDA LA VIDA. La unidad presenta un ISP bajo, cuenta con pocas o limitadas capacidades que aportan a la resiliencia.

La intervención será el reforzamiento estructural incremental solo de los bloques en la condición crítica. El objetivo es resguardar la vida y/o por lo menos de dar tiempo para la evacuación segura e intensificación y seguimiento estricto de charlas y capacitaciones que incrementen su resiliencia.

### **3.5.3 UNIDAD NIVEL 3 - INTERVENCIÓN DE PRIORIDAD 3**

Al menos uno de sus bloques tiene alto costo de aseguramiento o quedaría inoperativo luego de un sismo muy frecuente (habrá interrupción de las actividades para realizar reparaciones). La unidad presenta un ISP alto, cuenta con importantes capacidades que aportan a la resiliencia del sistema.

La intervención será el reforzamiento estructural total de bloques que lo requieran. Y repotenciación y seguimiento de charlas u capacitaciones que incrementen su resiliencia.

### **3.5.4 UNIDAD NIVEL 4 - INTERVENCIÓN DE PRIORIDAD 4**

Todos los bloques de la unidad se encuentran en buen estado físico estructural. Ninguno amenaza con colapsar, interrumpir las clases en escenarios muy frecuentes. Además, este colegio se encuentra en condiciones aceptables para su aseguramiento a precios del mercado. La unidad presenta un nivel alto del índice social. (cuenta con importantes capacidades de resiliencia). No requiere reforzamiento, solo se le dará

mantenimiento. Y repotenciación y seguimiento de charlas u capacitaciones que incrementen su resiliencia.

### **3.5.5 UNIDAD NIVEL 5 - INTERVENCIÓN DE PRIORIDAD 5**

Todos los bloques de la unidad se encuentran en buen estado físico estructural. Ninguno amenaza con colapsar, interrumpir las clases en escenarios muy frecuentes. Además, esta unidad se encuentra en condiciones aceptables para su aseguramiento a precios del mercado. Las capacidades de resiliencia del colegio son bajas. No requiere reforzamiento, solo se le dará mantenimiento. E intensificación y seguimiento estricto de charlas y capacitaciones que incrementen su resiliencia.

### **3.6 MÉTODO DE VALIDACIÓN**

La validación de la metodología ha sido establecido por los investigadores y docentes de este proyecto. La disponibilidad de información de metodologías adoptadas por el Gobierno Peruano, para la intervención de colegios públicos con fines de mitigación de riesgo, nos permite establecer la validación por comparación de resultados frente a la propuesta.

El análisis por escenarios frecuentemente empleado en la Gestión de Riesgos, ha sido el punto de partida para la validación. Entonces se comparan las consecuencias cuantitativas y cualitativas de cada metodología en escenarios sísmicos establecidos.

## **4. ESTUDIO DE CASO: COLEGIOS PÚBLICOS DE LIMA METROPOLITANA.**

---

### **4.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA Y ALCANCE - AMBITO DE ESTUDIO**

El sistema será la población estudiantil de los colegios públicos (como unidades) que pertenecen al Sector Educación. El alcance territorial será Lima Metropolitana. Y el peligro, al que están expuestas las unidades, será el sismo. Cabe resaltar que la escala del estudio abarcará a la infraestructura , sus ocupantes, usuarios finales y entorno social.

### **4.2 RECOLECCIÓN, SISTEMATIZACIÓN DE DATA Y ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS**

Se ha empleado información de estudios y trabajos previos en los que se basa este análisis. Los estudios y trabajos previos son:

- Riesgo de Colegios PUCP-BM.

Estudio que cuantifica el riesgo de las estructuras de los colegios públicos de Lima Metropolitana. Expone niveles de riesgo, en términos monetarios y en porcentaje de pérdidas.

Los resultados son a partir de un análisis probabilísticos y determinísticos por escenarios específicos.

La data se obtuvo del levantamiento de información de cada estructura (bloque) que conforma el colegio (unidad). Se logró el 80% del total de 1870 colegios públicos de Lima.

- Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda, INEI  
Realizado por el INEI, que es el organismo central y rector del Sistema Nacional de Estadística del Perú.  
Suministra estadísticas demográficas y socio-económicas de la población, así como las características y servicios básicos de la vivienda, que proporcionan una completa base cuantitativa para el conocimiento de la realidad nacional, la formulación, evaluación y seguimiento de los planes de desarrollo y la adecuada toma de decisiones.
- Censo nacional de Infraestructura Educativa 2013(MINEDU, INEI)  
Registra la información del estado actual de los centros educativos públicos en todo el Perú. Se logró el 85% del total de 49 516 locales escolares de Perú.  
Posteriormente el estado planea destinar recursos, en forma más eficiente, para atender aquellos donde existan más deficiencias
- Sistema de Información sobre Recursos para Atención de Desastres (SIRAD), INDECI.  
Es un sistema de información sobre los recursos esenciales con que cuenta Lima Metropolitana y el Callao para la preparación, respuesta y recuperación temprana ante la ocurrencia de un sismo y/o tsunami.
- Plan Lima, Atención inmediata a colegios con infraestructura en riesgo.  
Proyecto de inversión pública dirigido a 373 colegios de Lima, para reducir su alto riesgo. Se encuentra en actual ejecución y su inversión es de S/.75 758 110 por parte del Gobierno Central a través del MINEDU.  
El riesgo de un colegio se determinó con información del CIE, inspecciones oculares realizadas por el PRONIED y estudios del Banco Mundial.

#### **4.3 IDENTIFICACIÓN DE FACTORES RELEVANTES PARA LA PRIORIZACIÓN**

La identificación y validación de los FR se realizó en el marco de un taller participativo organizado para complementar este trabajo, y explicado en el acápite 3.1.1.

##### **4.3.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE SOCIAL DE PRIORIZACIÓN**

El planteamiento de una métrica del nivel de resiliencia y desigualdad social significa reconocer que lo que se intenta caracterizar, con fines de comparación, es la situación de una unidad en su contexto actual.

La resiliencia y la desigualdad social son aspectos clave para entender el riesgo desde una perspectiva holística, y debe ser dimensionado de acuerdo con la escala espacial y social considerada en el entorno del colegio. En este trabajo se ha estimado una métrica denominada como el “Índice Social de Priorización” (ISP). Su determinación se basa en el procedimiento del PAJ

#### **4.3.2 DETERMINACIÓN DE NIVELES DE IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS FACTORES DE RIESGO**

El ISP es un indicador compuesto para realizar estimaciones o mediciones de la resiliencia y desigualdad social. Tiene el beneficio de permitir la combinación de técnicas cuantitativas y cualitativas de evaluación. Los indicadores compuestos permiten captar rasgos que mediante modelos o algoritmos matemáticos no es posible estimar o que intentar estimarlos mediante dichos modelos es igualmente impreciso.

La estimación de los pesos requiere realizar una encuesta a diversos especialistas en el tema. Una recomendación general es utilizar máximo diez indicadores para que se facilite la asignación concertada de los pesos. El PAJ es una técnica muy empleada para la toma de decisiones con base en múltiples atributos. Como método de ponderación permite obtener pesos contrastantes a los obtenidos de manera arbitraria.

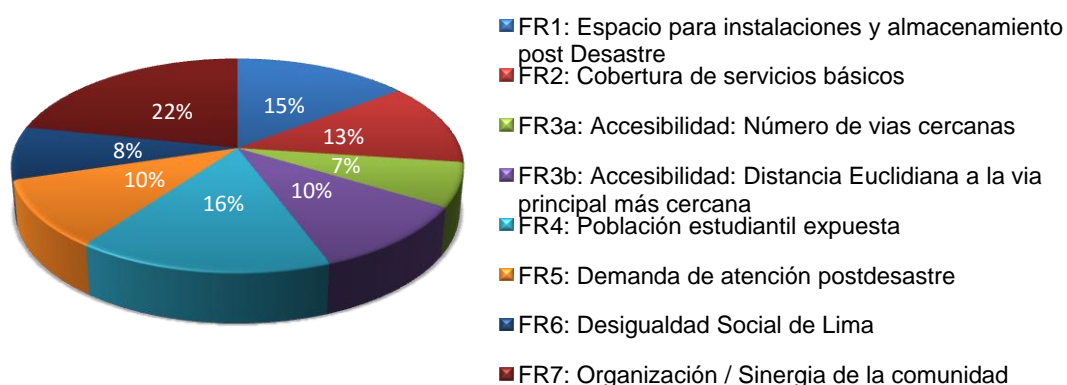
El PAJ acepta error de valoración de enfoque redundante, es decir, existe más ecuaciones disponibles que el número de pesos a definir. La redundancia es una característica del promedio y los pesos obtenidos son menos sensibles a las tolerancias (IDEA, 2005).

Las encuestas se hicieron a los participantes del taller participativo. Su objetivo es identificar los niveles de importancia relativa entre los FR. El material empleado se encuentra en el Anexo VI, así como todas las encuestas efectuadas. También se especifica brevemente el procedimiento, la escala de Saaty y la Matriz de Comparaciones empleada en el procedimiento del PAJ. A cada encuestado se le expuso el objetivo de la encuesta, las conclusiones del taller, y los FR identificados. Luego se explicó el enfoque de cada FR para su comparación y se procedió a llenar la Matriz de Comparación.

El resultado de cada encuesta es el conjunto de pesos relativos verificados por una técnica de vectores propios. Su ventaja es que se verifica la consistencia de la matriz de comparación a través del cálculo de los valores propios (*eigenvalues*).

Finalmente, los pesos de los FR serán el promedio de los valores obtenidos en cada encuesta. En la Tabla 2 se muestran los pesos de cada encuesta con los pesos máximos y mínimos sombreados en color rosado y azul respectivamente. También se presenta el promedio final y su desviación estándar. A partir de los resultados, se puede distinguir las diferentes perspectivas y preferencias. En el que se consolida que el FR de Nivel de Organización o Sinergia de la Comunidad es el principal para priorizar y por el contrario el FR de Accesibilidad referido al Número de vías cercanas es el de menor importancia.

En la Figura 7 se muestran los pesos de cada factor, conocidos como el Nivel de Importancia. Los FR 1, 4 y 7 logran sumar un poco más de 52%, lo que los convierte en los más influyentes para la priorización.

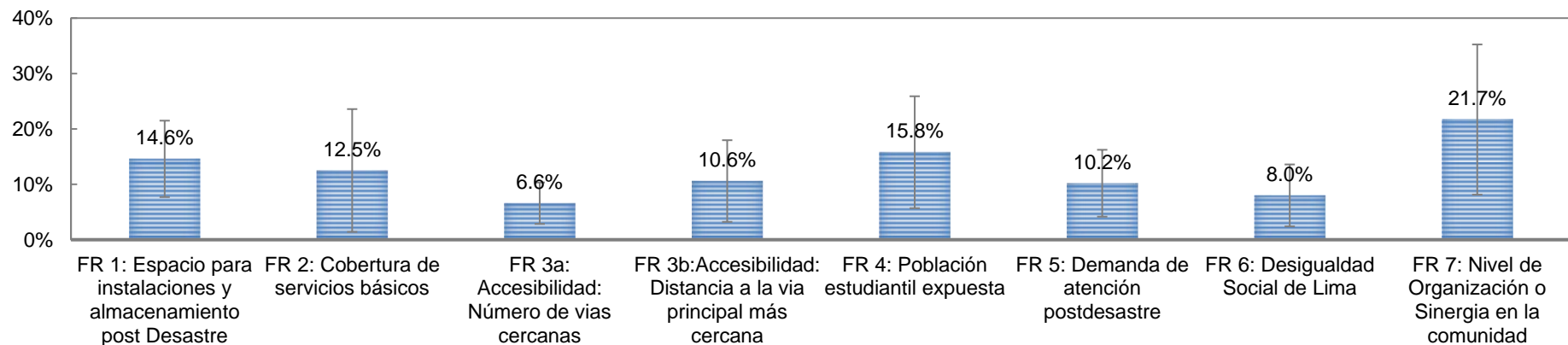


**Figura 7. Nivel de Importancia Relativa entre los Factores de Riesgo (FR).**

La Figura 7 esquematiza los niveles de importancia entre los FR, así como su variabilidad. A pesar de que el FR 7 es el más importante, tiene la máxima desviación estándar de 13.6%, y el FR 3a tiene el menor con 3.7%. Esto confirma que el FR3a es el menos importante para los encuestados, pero el FR 7 es susceptible a variación.

**Tabla 2. Resumen de Pesos Relativos para cada uno de los encuestados y el promedio final empleado en la metodología**

FACTOR	Participantes de las diferentes disciplinas e instituciones											Resultados	
	PRONIED 1	PRONIED 2	PRONIED 3	PRONIED 4	PRONIED 6	PRONIED 7	BM	DRELM	CIAC 1	CIAC 2	PUCP 1	Prom	D.S.
FR1	0.06	0.08	0.05	0.16	0.27	0.13	0.15	0.19	0.22	0.19	0.1	15%	6.9%
FR2	0.06	0.05	0.04	0.08	0.07	0.35	0.29	0.15	0.07	0.19	0.02	13%	11.1%
FR3a	0.04	0.03	0.12	0.04	0.07	0.12	0.09	0.1	0.06	0.02	0.05	7%	3.7%
FR3b	0.08	0.07	0.07	0.03	0.07	0.22	0.22	0.07	0.22	0.08	0.04	11%	7.4%
FR4	0.13	0.2	0.29	0.33	0.07	0.07	0.04	0.03	0.23	0.19	0.16	16%	10.1%
FR5	0.17	0.14	0.15	0.21	0.04	0.05	0.04	0.08	0.04	0.08	0.13	10%	6.0%
FR6	0.2	0.06	0.09	0.09	0.06	0.02	0.02	0.05	0.04	0.16	0.09	8%	5.6%
FR7	0.26	0.37	0.19	0.07	0.35	0.03	0.15	0.33	0.12	0.09	0.41	22%	13.6%



**Figura 7. Variabilidad de los pesos relativos de los FR.**

## **4.4 INDICADORES DE RIESGO**

Una vez identificados los FR, su importancia relativa (pesos) y sus parámetros como una medida directa o indirecta a cada factor, se obtienen los indicadores para la priorización

### **4.4.1 INDICADORES DE DAÑO FÍSICO**

Este análisis tiene tres objetivos:

- Identificar las estructuras que pueden interrumpir las actividades luego de un escenario sísmico muy frecuente. La inoperatividad sería por el nivel de daño que incurrirían las estructuras en dicho evento.
- Identificar las estructuras que en un escenario sísmico ocasional, sufran daños al nivel de atentar contra la vida.
- Identificar las estructuras que no son asegurables por aseguradoras privadas a precios del mercado. nivel de riesgo existentes de las estructuras. de las en relación a los sismos. También conocer las estructuras que pueden ser asegurables por entidades privadas, a fin de transferir el riesgo al sector privado.

Este análisis parte de la información suministrada por el estudio “Evaluación Probabilista del Riesgo Sísmico de Escuelas en Lima”. Se debe tener presente que el nivel de análisis es por bloque y no por colegio, por lo que el universo de datos es de 7,473 bloques estructurales independientes, que corresponden a 1,825 colegios.

#### **4.4.1.1 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS PROBABLES POR SISMO**

Un indicador de riesgo sísmico es la Pérdida Anual Esperada (PAE) o Prima Pura de Riesgo. Sólo se cuantifica a nivel de daño estructural del bloque como edificación independiente. Para la metodología se emplea el PAE en términos de porcentaje de pérdidas, respecto al costo de reposición total. El objetivo es comparar el PAE con el porcentaje máximo que admite la empresa privada para asegurar la infraestructura. Estos resultados se encuentran como parte de la base de datos del Anexo I.

#### 4.4.1.2 ANÁLISIS DE DESEMPEÑO ESTRUCTURAL POR ESCENARIO MUY FRECUENTE

El análisis probabilista de riesgo se realiza normalmente para el conjunto completo de escenarios especificados en la amenaza. Sin embargo, si así se desea, el análisis puede realizarse para un solo escenario (uno solo de los sumandos en la ecuación 1).

Este caso de análisis por escenarios tiene aplicaciones importantes en el campo de la planeación territorial, ya que sus resultados, mapeados por ejemplo en términos del valor esperado de la pérdida, son fácilmente incorporables en los planes de ordenamiento territorial.

El objetivo es identificar los bloques que presentarían daños al nivel de interrumpir las actividades académicas luego de un escenario muy frecuente. Las características del escenario se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3. Características del escenario sísmicos analizados. (Santa Cruz 2013)**

Escenario	Magnitud	Epicentro	Intensidad en la Ciudad de Lima (gals)	Periodo de retorno de la intensidad
Muy frecuente	6.46	Frente a las costas de Lima a 45 Km de profundidad	70-100	10 años

Los resultados del análisis se presentan en niveles de desempeño, expresados en porcentaje, referido al costo de reparación o pérdidas respecto al costo de reposición de una edificación nueva competente. Estos resultados se encuentran como parte de la base de datos del Anexo I.

#### 4.4.1.3 ANÁLISIS DE DESEMPEÑO ESTRUCTURAL POR ESCENARIO OCASIONAL

El objetivo es identificar aquellos bloques que amenazan la vida de sus ocupantes en un escenario ocasional. Que por el nivel de sismicidad a la que están expuestos, su ocurrencia es probable. Las características del escenario se presentan en la Tabla 4

Los resultados del análisis se presentan en niveles de desempeño, expresados en porcentaje, referido al costo de reparación o pérdidas respecto al costo de reposición

de una edificación nueva competente. Estos resultados se encuentran como parte de la base de datos del Anexo I.

**Tabla 4. Características de escenarios sísmicos analizados (Santa Cruz, 2013).**

Escenario	Magnitud	Epicentro	Intensidad en la Ciudad de Lima (gals)	Periodo de retorno de la intensidad
Ocasional	8.21	Frente a las costas de Lima a 45 Km de profundidad	200-250	75 años

#### 4.4.2 ÍNDICE SOCIAL DE PRIORIZACIÓN (ISP)

El objetivo de este análisis es identificar aquellos colegios que cuentan con mayores capacidades para la respuesta ante un desastre, y que al ser intervenidos, reduzcan la brecha de desigualdad social, es decir, incrementen la inclusión social.

El ISP es un indicador unitario, en el que cero (0) representa el nivel más bajo de capacidades para la respuesta a la emergencia y uno (1) el nivel óptimo de respuesta e inclusión social. Su valor se obtiene al realizar la suma ponderada de los indicadores de cada FR con sus respectivos pesos o niveles de importancia.

**Tabla 5. Estadística de los FR**

Medida Estadística	Factores de Riesgo (FR)							
	FR1	FR2	FR3a	FR3b	FR4	FR5	FR6	FR7
N	1870	1870	1870	1870	1870	1870	1870	1870
Media	4.0E+09	53,274	0.673	2535	0.445	16505.7	2.630	0.356
Mediana	1.4E+09	60,000	0.54	1501	0.363	16098	3	0.333
Moda	0.0E+00	6	0.23	13486	0	8371	3	0
Desv Est.	8.2E+10	128,611	0.497	2,634,394	0.403	8,842,118	0.764	0.305
Mínimo	0.0E+00	0	0	192	0	51	1	0
Máximo	1.7E+09	6	30,000	14660	46,970	80840	5	10,000
P20	5.0E+08	50,000	0.23	829.4	0.18	8375	2	0
P40	1.0E+09	60,000	0.46	1231.2	0.3	13912	2	0.250
P60	2.1E+09	60,000	0.77	1973	0.427	18682	3	0.429
P80	5.3E+09	60,000	1,000,000	3922.4	0.628	22917	3	0.600

#### **4.4.2.1 MEDICIÓN DE FACTORES**

Cada factor tiene un parámetro característico definido previamente en el taller. Este parámetro tiene unidades propias y diferentes. La Tabla 5 muestra datos estadísticos de los parámetros de cada FR. Se debe tener presente que cada parámetro es medido o asignado para cada unidad, y no bloque independiente como en el Análisis de Daño Físico. En consecuencia el total del datos presentados es el universo de los colegios públicos de Lima. A través de las funciones de transformación (ver Anexo II) correspondientes a cada FR, cada parámetro es convertido en un indicador unitario adimensional.

##### **4.4.2.1.1 FR 1: Espacio para Instalaciones y Almacenamiento Post Desastre**

El FR 1 está referido al nivel de importancia en la Gestión de la Respuesta post desastre. El espacio útil para instalaciones y almacenamiento es sustancial por la necesidad de almacenar los recursos para la atención, y por la organización y comunicación estratégica para la recuperación.

En la Figura 16 el mapa de Lima Metropolitana con los colegios públicos marcados con puntos y tamaño proporcional a su cantidad de área libre. En la Figura 8 se presenta el histograma de frecuencias del FR 1 con una curva estadística que aproxima su distribución.

##### **4.4.2.1.2 FR 2: Cobertura de Servicios Básicos**

El FR 2 está referido a la cantidad de servicios básicos con los que cuenta cada unidad. Si las unidades son puntos estratégicos en donde se centrarán la planificación, organización y comunicación, es importante que cuenten con servicios básicos que cubran las necesidades esenciales para dicho rol.

La Figura 17 muestra el mapa de Lima Metropolitana con las unidades identificadas como puntos y la cantidad de servicios básicos con los que cuenta. La Figura 9 presenta el histograma de frecuencias del FR 2 con una curva estadística que aproxima su distribución.

##### **4.4.2.1.3 FR 3: Accesibilidad**

El FR 3 representa el nivel de facilidad de acceso a la unidad. La facilidad se puede entender por la cantidad de vías cercanas a la unidad y la distancia a las mismas. La

Figura 19 muestra el mapa de Lima Metropolitana con las unidades identificadas como puntos y las vías cercanas. La Figura 9, Figura 10 y Figura 11 presenta el histograma de frecuencias del FR 3 con una curva estadística que aproxima su distribución.

#### **4.4.2.1.4 FR 4: Población Estudiantil Expuesta**

El FR 4 representa la población expuesta de cada unidad. El parámetro contabiliza la cantidad de alumnos por área construida de colegio. La Figura 12 presenta el histograma de frecuencias del FR 4 con una curva estadística que aproxima su distribución.

#### **4.4.2.1.5 FR 5: Demanda de atención post desastre**

El FR 5 representa la cantidad de personas del entorno que pueden requerir atención luego del desastre. El parámetro contabiliza la cantidad de personas por área de manzanas en una zona delimitada (zona censal).

La Figura 12Figura 21 presenta el histograma de frecuencias del FR 5 con una curva estadística que aproxima su distribución. La Figura 13 presenta el histograma de frecuencias del FR 5 con una curva estadística que aproxima su distribución

#### **4.4.2.1.6 FR 6: Desigualdad Social**

El FR 6 es difícil de determinar por un solo parámetro, pero en este caso en particular se optó por representarlo con los estratos socioeconómicos. Los estratos de menores ingresos económicos se consideran más prioritarios por sus bajas condiciones de vida y escasos recursos disponibles para su recuperación. El parámetro es un conjunto de 5 niveles establecidos por el INEI, asignados de acuerdo al ingreso económico familiar promedio por manzana. La Figura 12Figura 22 presenta el histograma de frecuencias del FR 6 con una curva estadística que aproxima su distribución. La Figura 14 presenta el histograma de frecuencias del FR 6 con una curva estadística que aproxima su distribución

#### **4.4.2.1.7 FR 7: Nivel de Organización o Sinergia en La Comunidad**

El FR 7 es el potencial de organización, preparación y compromiso de la comunidad para responder a emergencias. En este caso, se empleó la información estadística de los bloques que han sido construidos por la gestión de la APAFA. La contabilidad de bloques respecto al total existente en cada unidad nos da un parámetro, indirecto, sobre el nivel de compromiso y organización. La Figura 12Figura 23 presenta el histograma de frecuencias del FR 7 con una curva estadística que aproxima su

distribución. La Figura 15 y Figura 14 presenta el histograma de frecuencias del FR 7 con una curva estadística que aproxima su distribución

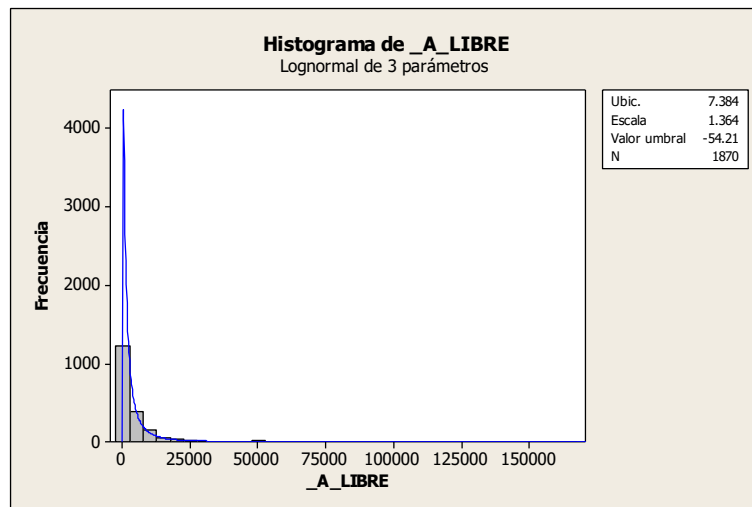


Figura 8. Histograma de frecuencias del Área Libre de las unidades.

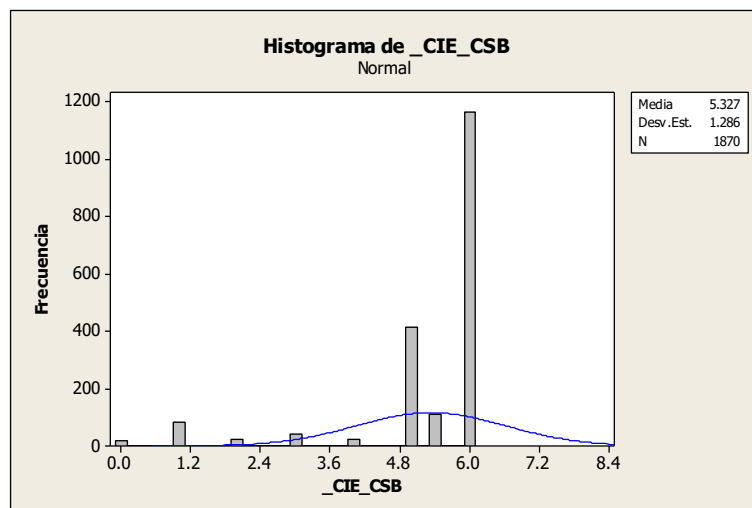


Figura 9. Histograma de frecuencias de la Cantidad de Servicios Básicos de las unidades.

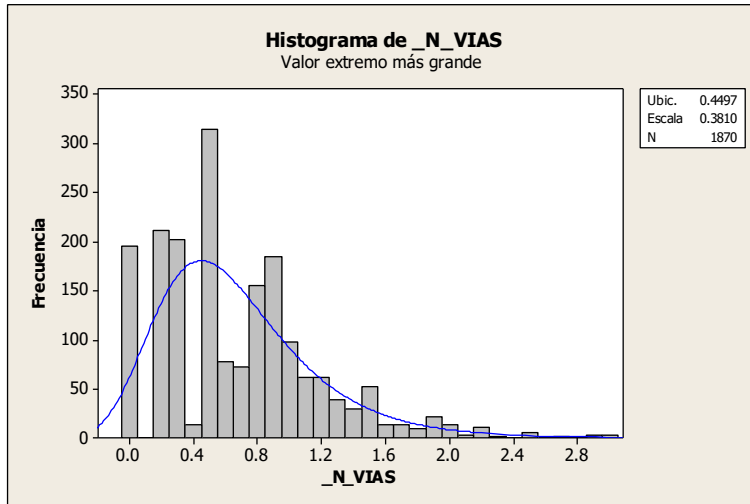


Figura 10. Histograma de frecuencias del Número de Vías más cercanas de las unidades.

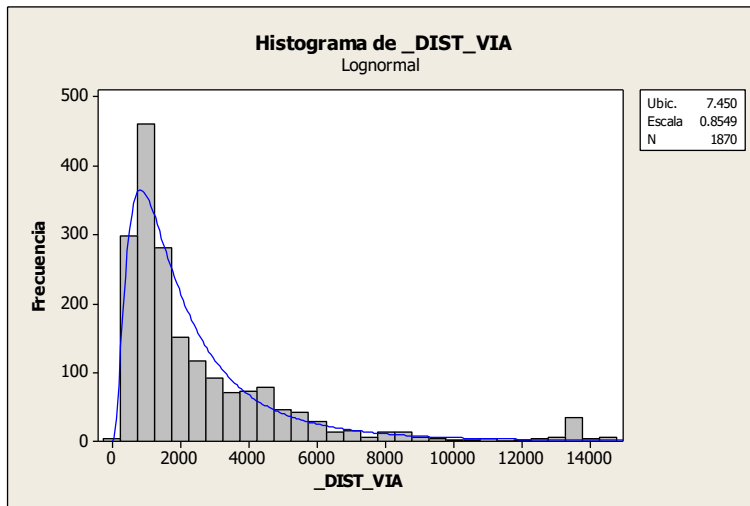


Figura 11. Histograma de frecuencias de la Distancia a la Vía más cercana de las unidades.

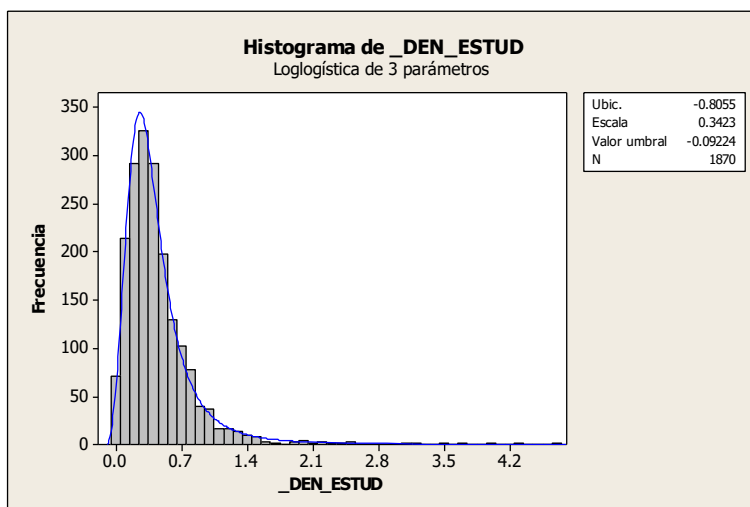
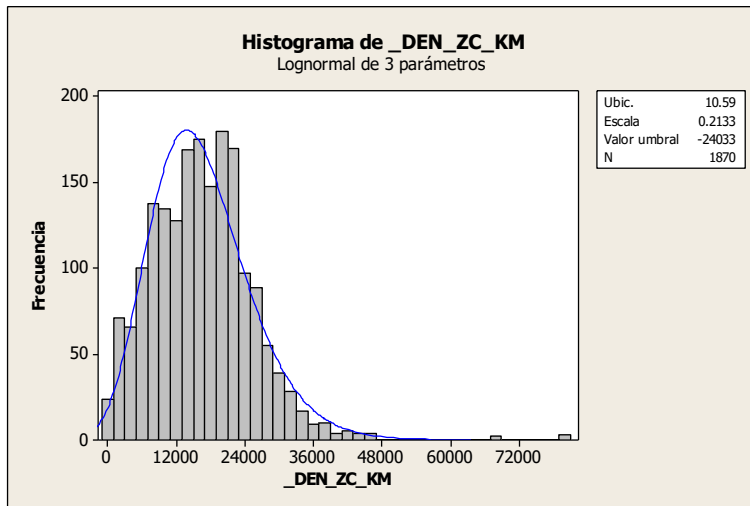
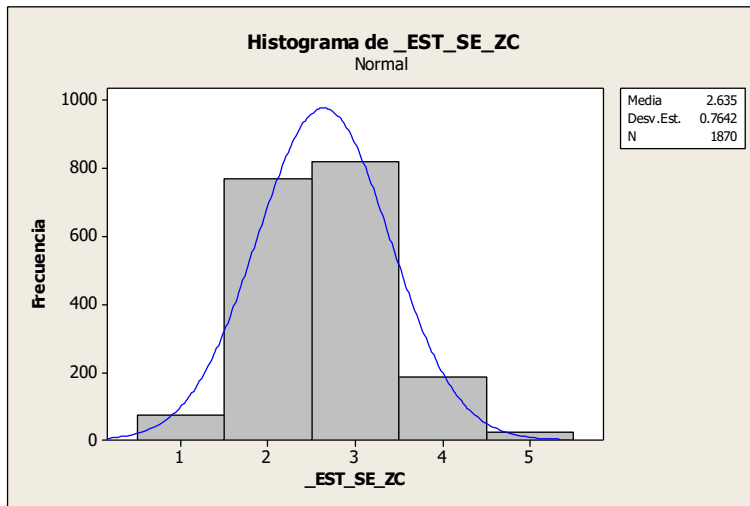


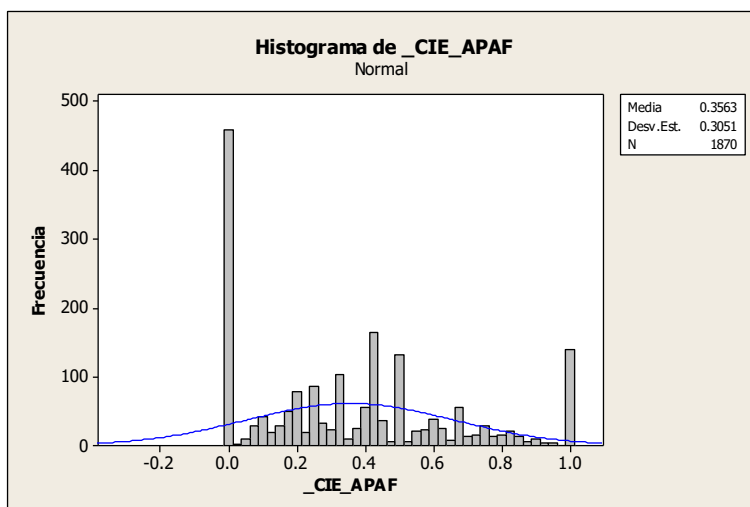
Figura 12. Histograma de frecuencias de la Densidad Estudiantil de las unidades.



**Figura 13. Histograma de frecuencias de la Densidad Poblacional de las Zonas Censales a las que pertenecen las unidades.**



**Figura 14. Histograma de frecuencias de los Estratos Socio-Económicos de las unidades.**



**Figura 15. Histograma de frecuencias del nivel de Organización de las APAFAS de las unidades.**

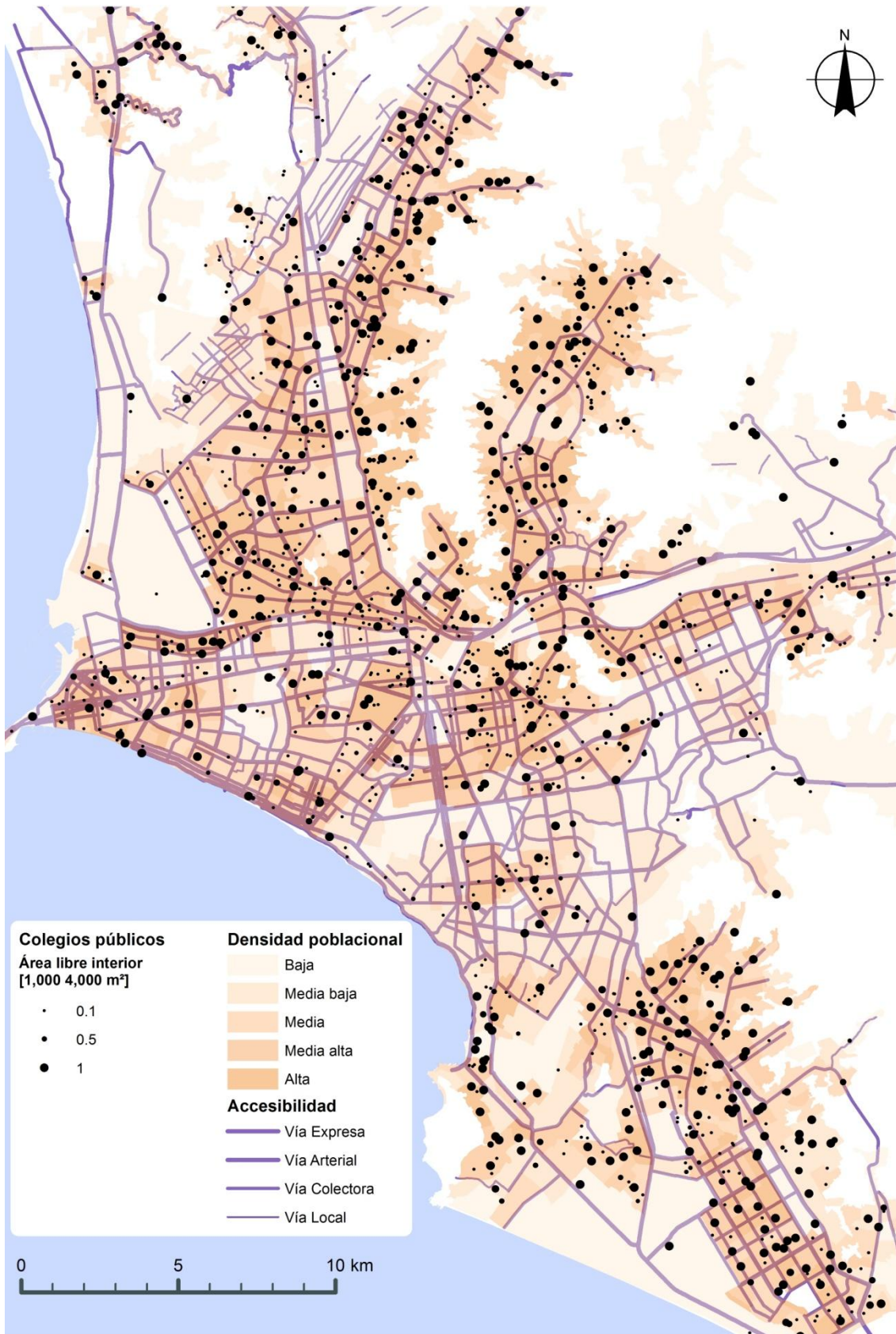
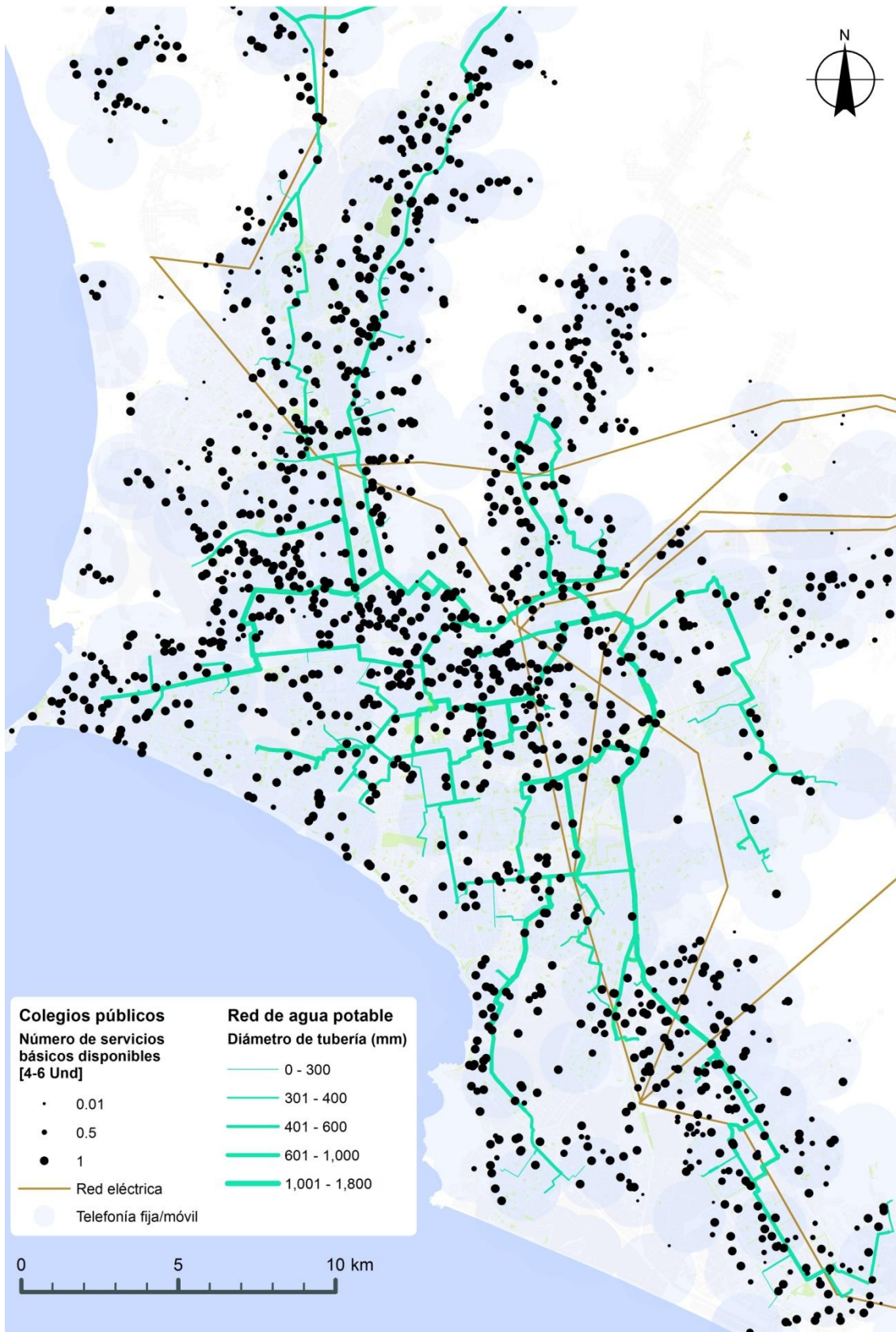
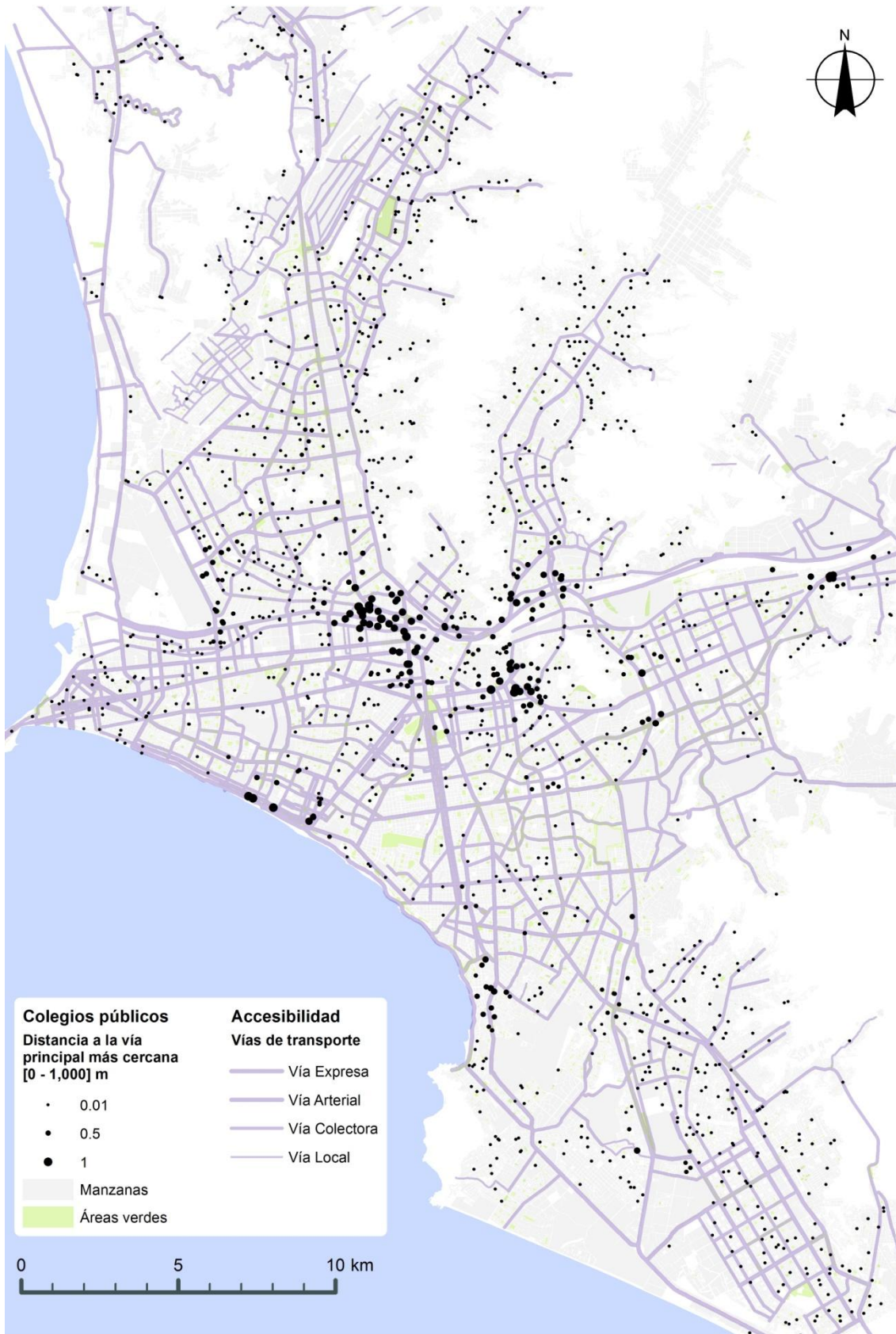


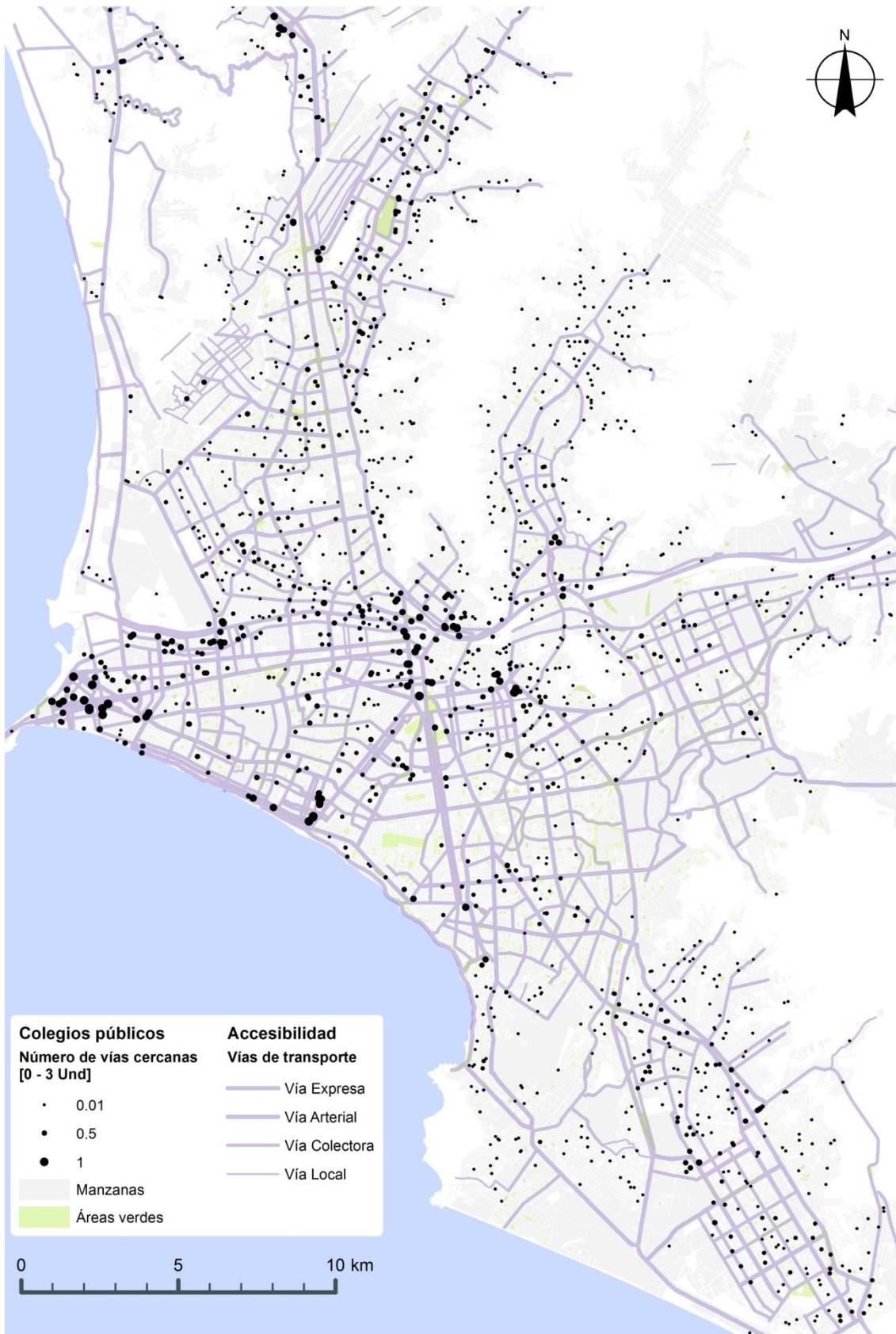
Figura 16. Mapa de Espacio para Instalaciones y Almacenamiento Post Desastre.



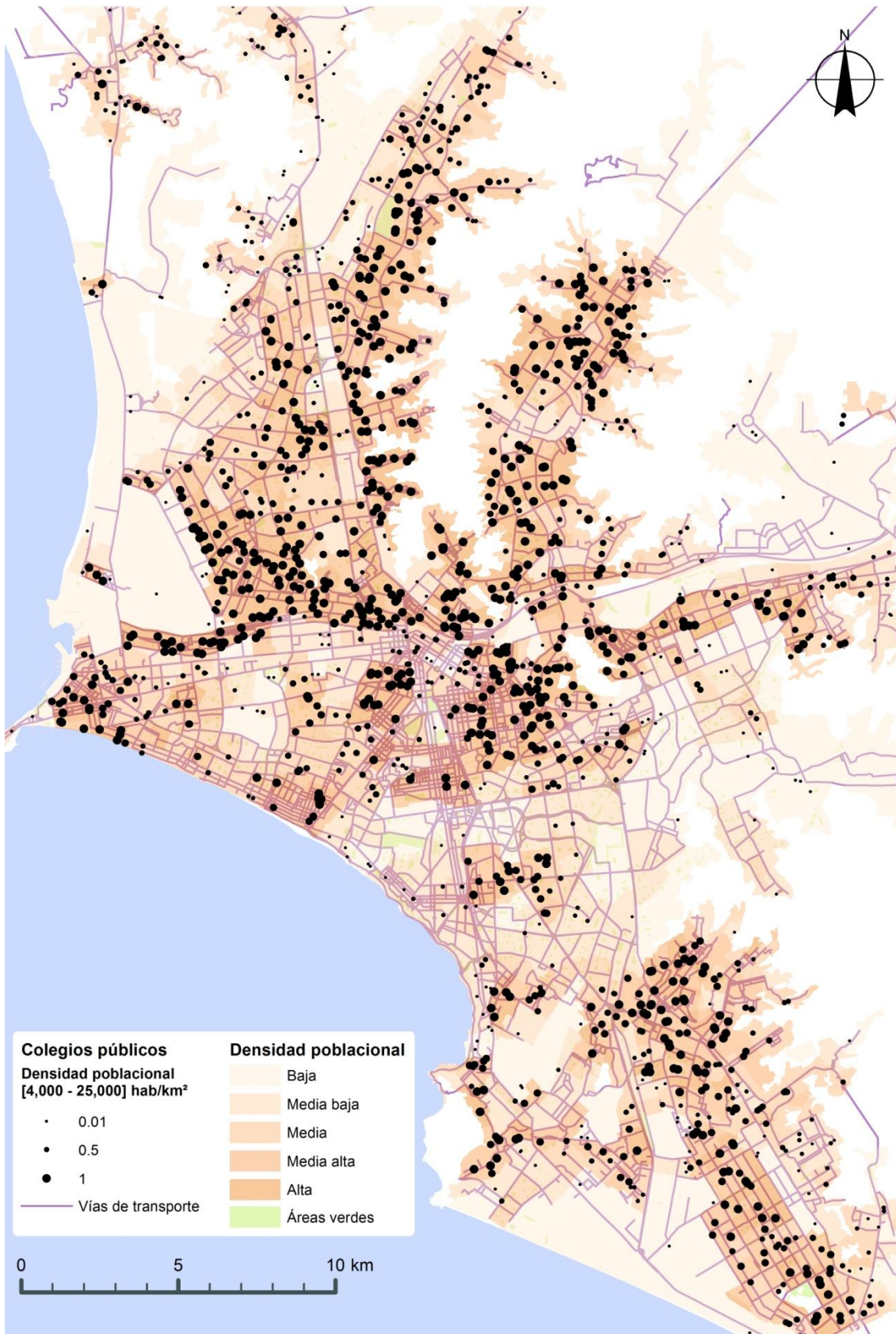
**Figura 17. Mapa de Lima Metropolitana con el Factor de Riesgo de Cobertura de Servicios Básicos**



**Figura 18. Mapa de Lima Metropolitana con las unidades y características de accesibilidad (distancia a vías).**



**Figura 19. Mapa de Lima Metropolitana con las unidades y características de accesibilidad (número de vías).**



**Figura 20. Mapa de Lima Metropolitana con las unidades y demanda poblacional del entorno.**

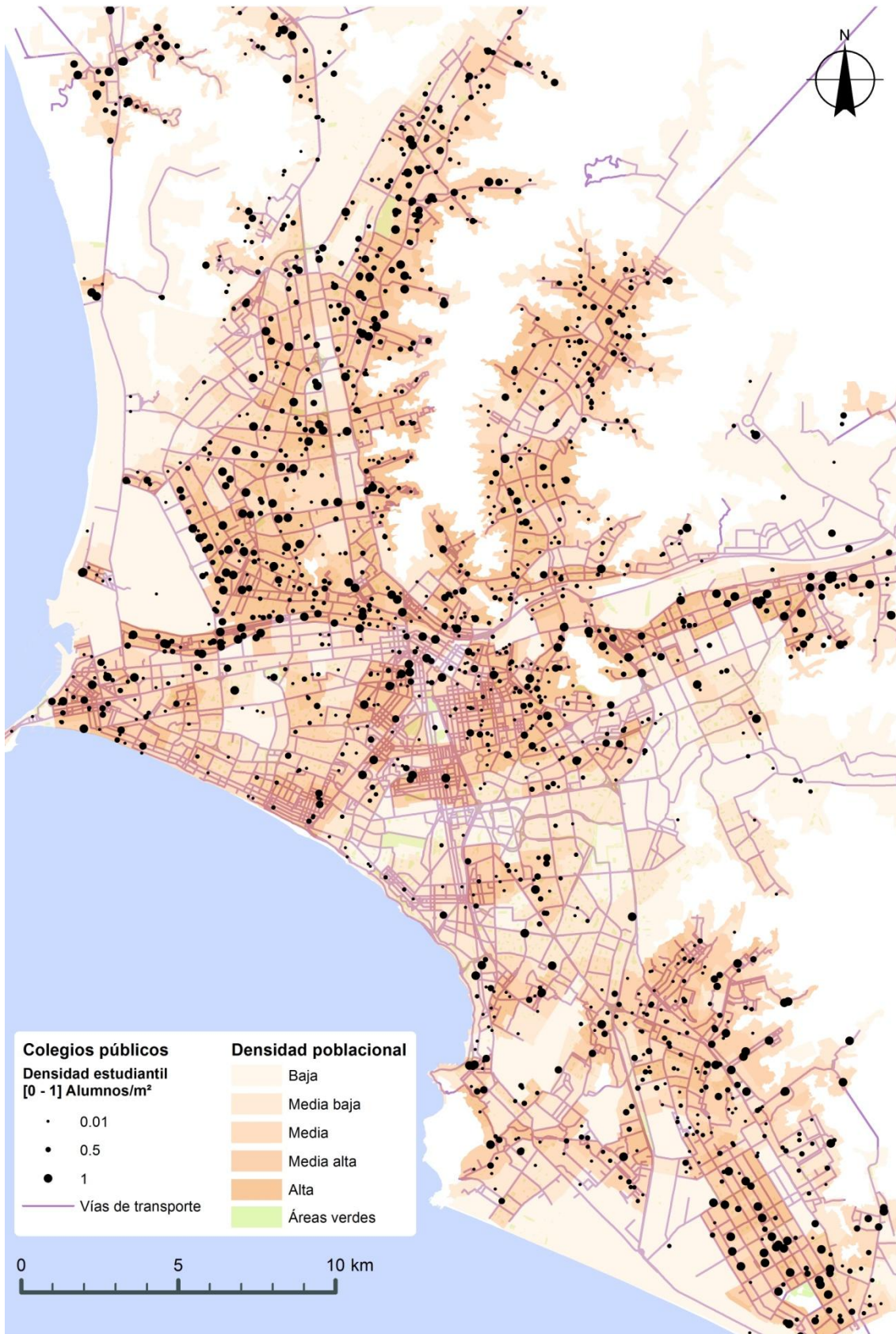


Figura 21. Mapa de Lima Metropolitana con las unidades y demanda estudiantil.

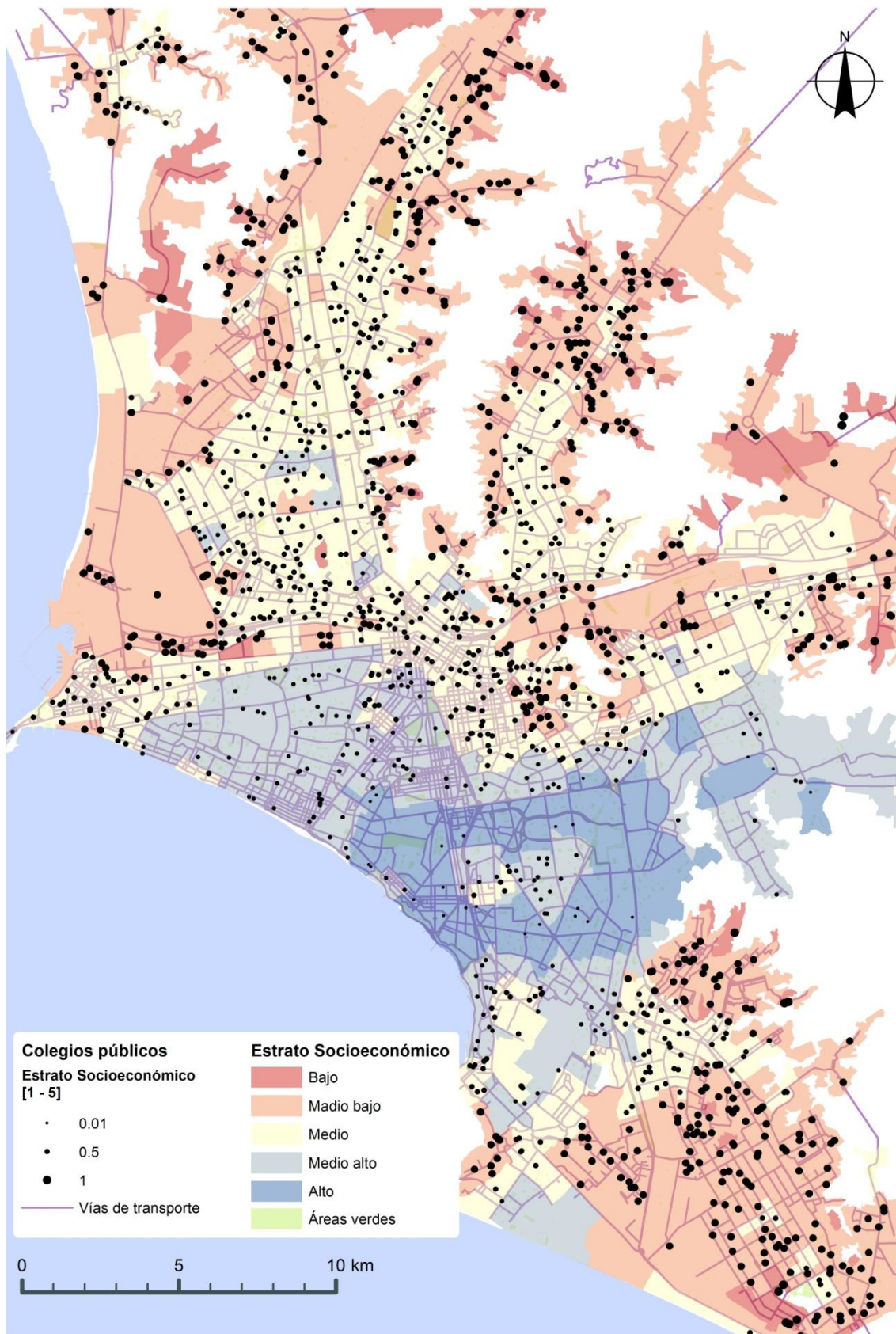


Figura 22. Mapa de Lima Metropolitana con las unidades y características del Nivel Socio Económico de la población.

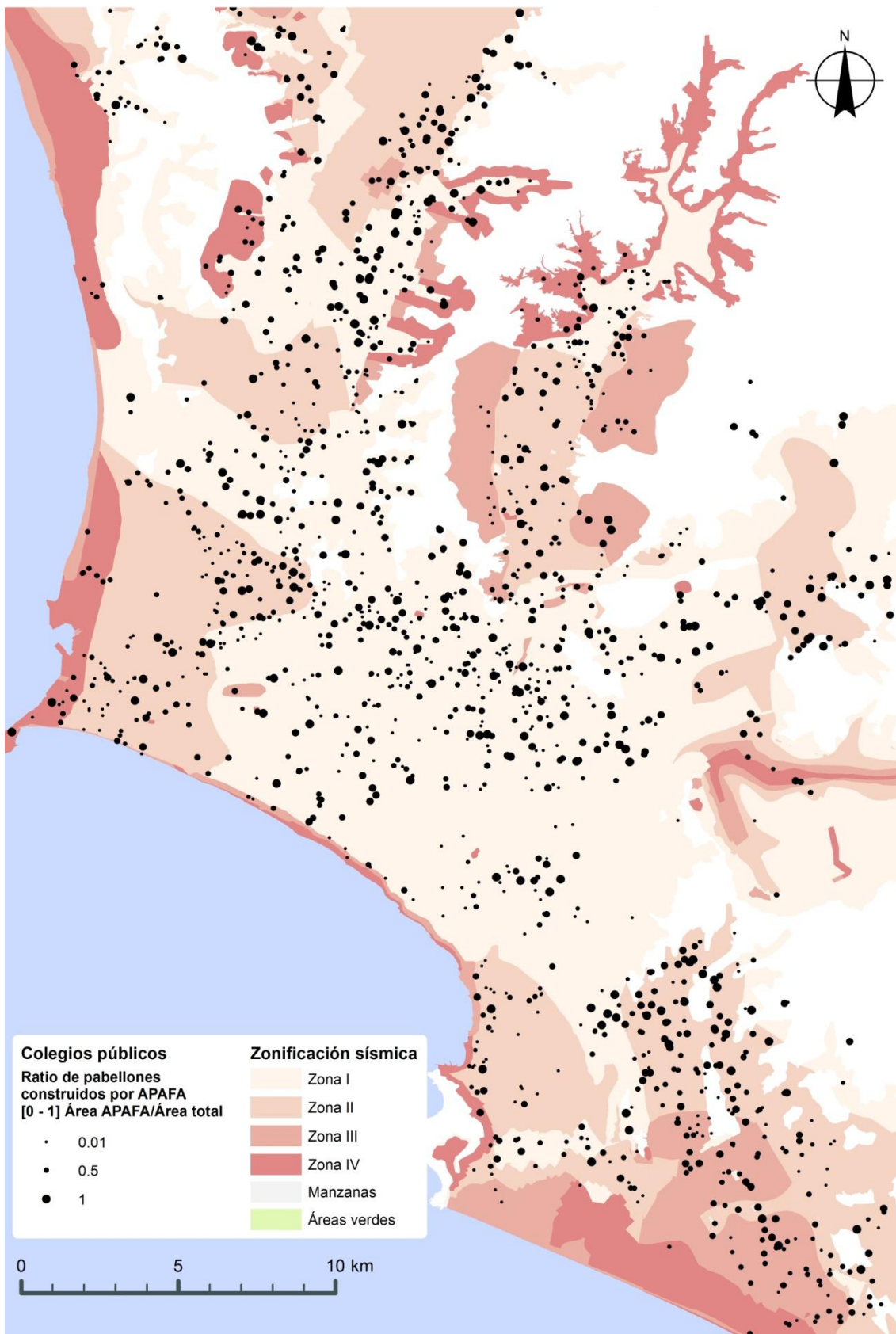


Figura 23. Mapa de Lima Metropolitana con las unidades y tamaño proporcional al nivel de organización.

#### 4.4.2.2 PONDERACIÓN DE FACTORES Y OBTENCIÓN DEL ÍNDICE

En este nivel ya se cuentan cuantificados los FR con indicadores unitarios adimensionales. Lo siguiente será calcular e ISP, por medio de la suma ponderada de los indicadores con los pesos correspondientes a cada FR. La Figura 24 muestra el histograma de frecuencias de las unidades con su respectivo ISP. El máximo valor obtenido es de 0.8, indicando ser la unidad con máximas capacidades que aportan a la resiliencia del sistema. Y el valor mínimo es 0, el cual debe ser atribuido a las unidades sin información o que presentan un nivel de prioridad bajo por su aporte a la resiliencia del sistema.

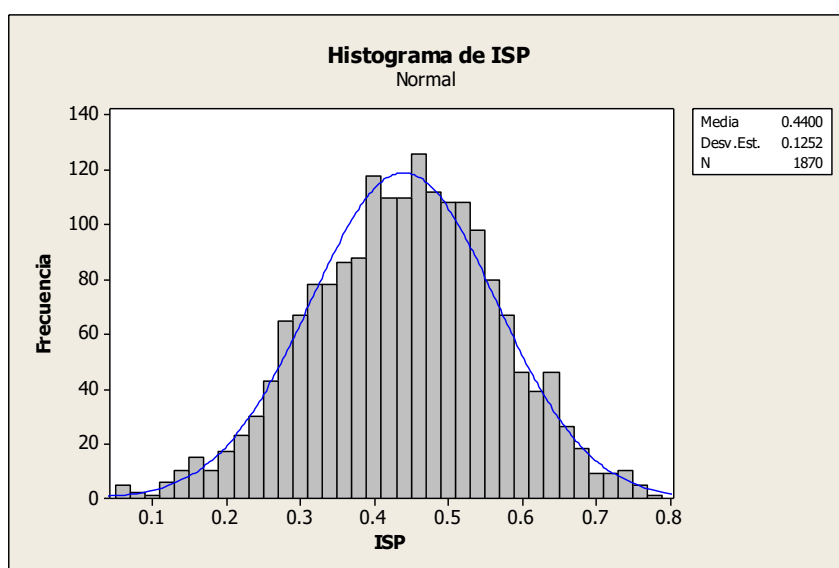


Figura 24. Histograma de frecuencias del Índice Social de Priorización (ISP) de las de las unidades.

#### 4.5 NIVELES DE PRIORIDAD Y ESTRATÉGIA DE INTERVENCIONES DIFERENCIADAS

Los niveles de prioridad y estrategias son resultado de la clasificación de cada unidad por medio de una estructura de condicionantes aplicados a los indicadores calculados. Los condicionantes permiten ubicar a las unidades en los distintos niveles de prioridad. Y los indicadores son el resultado del Análisis Físico Estructural y del Análisis por capacidades de Resiliencia.

#### **4.5.1 CONDICIONANTES PARA LA CLASIFICACIÓN DE PRIORIDADES**

La estructura de condicionantes se muestra en el Diagrama de Flujo de la Metodología en el Anexo VII. En este diagrama se muestra el procedimiento completo, paso a paso, de la metodología de priorización.

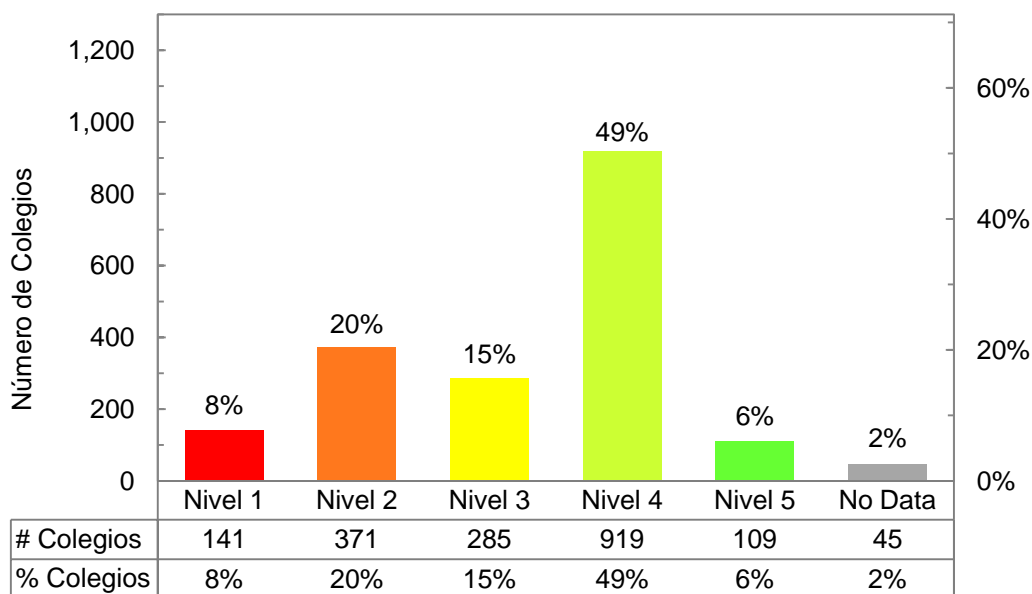
Existen tres grupos de condicionantes. El primero evalúa el nivel de desempeño de los bloques; el segundo, el nivel de resiliencia de las unidades y el tercero realiza un análisis por unidad, considerando el nivel de desempeño de los bloques que contiene, de acuerdo con la filosofía.

A modo de ejemplo, si en una unidad existe al menos un bloque que pone en peligro a sus ocupantes y que por sus características generales aportaría a la resiliencia del sistema; entonces la unidad completa (independientemente de los diferentes tipos de bloques con los que cuenta) se ubica en el Nivel 1 de prioridad para las intervenciones. El Nivel 2, es referido a unidades con al menos un bloque que pone en peligro a sus ocupantes y sus características generales no aportan significativamente a la resiliencia del sistema. Luego siguen conjuntos de menor prioridad.

#### **4.5.2 NIVELES DE PRIORIDAD**

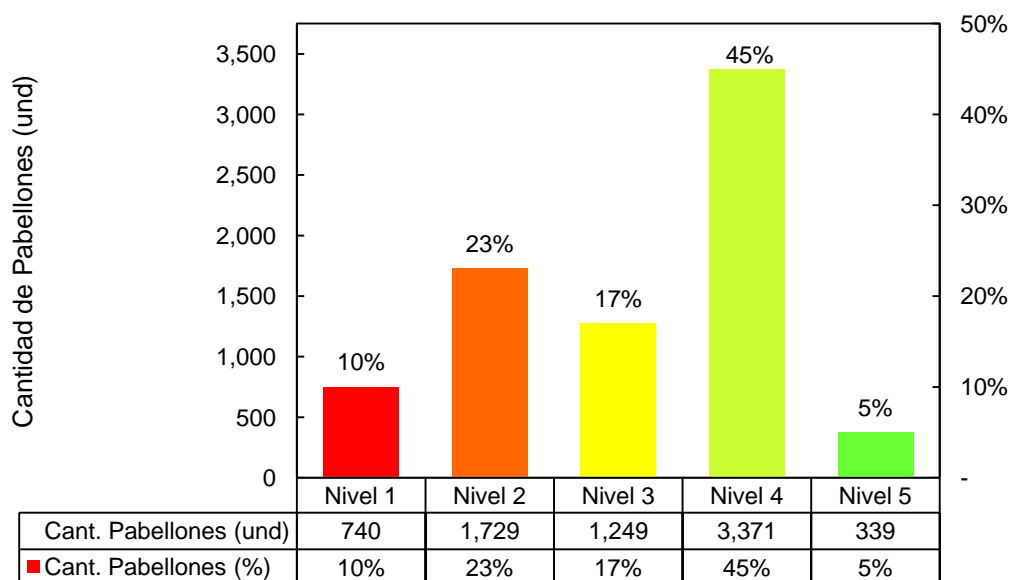
Al aplicar la metodología, se obtiene la clasificación de las unidades en cinco (05) niveles de prioridad. La Figura 25 muestra los resultados globales de la priorización. Existen 141 unidades en el Nivel 1 y 371 en el Nivel 2, los cuales suman el 28% del total de unidades (colegios) que requieren una atención inmediata. Estas unidades están en condiciones de emergencia por atentar contra la integridad física de sus ocupantes. Por otro lado, sólo el 6% de unidades se encuentran clasificadas en el menor nivel de prioridad, esto es consecuencia de sus buenas condiciones físicas estructurales.

El Nivel 4 de prioridad alberga a casi el 50% del universo de colegios. Su futura intervención es crítica en relación con la cantidad de horas lectivas interrumpidas para su realización. Este nivel amerita un planeamiento estratégico independiente.



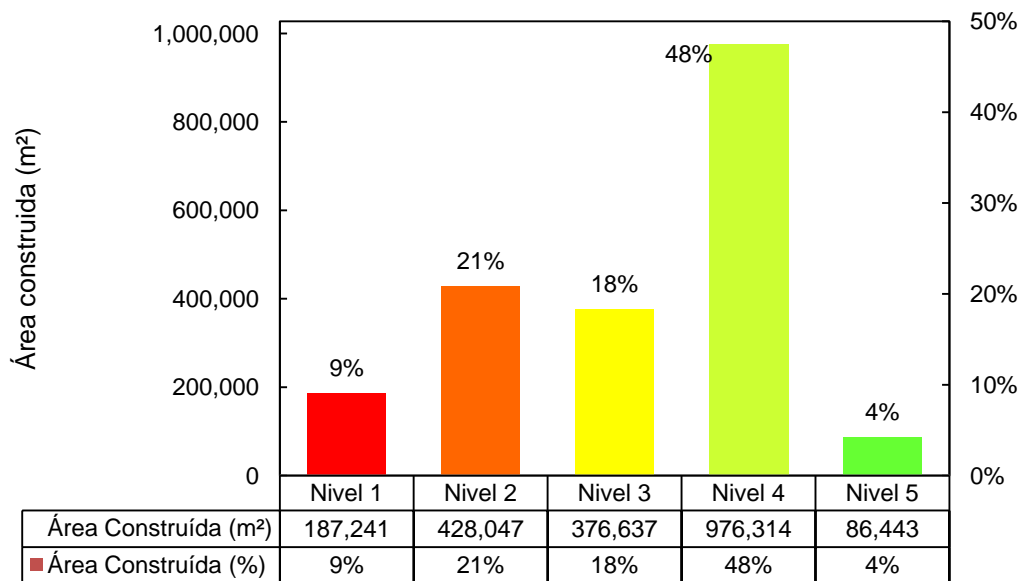
**Figura 25. Priorización de Colegios Públicos de Lima Metropolitana.**

La Figura 26 representa la cantidad de pabellones que suman todas las unidades pertenecientes a cada nivel de prioridad. Si el 28% de unidades de los niveles 1 y 2, equivalen al 33% del total de bloques en toda Lima Metropolitana. Se puede estimar que la cantidad promedio de pabellones por unidad es de 4 a 5.



**Figura 26. Cantidad de Pabellones por Niveles de Prioridad.**

La Figura 27 muestra el área construida participante en cada nivel de prioridad. El total de área intervenida en los dos primeros niveles suman el 30% del total. Se puede estimar que la cantidad de área construida por unidad es 3500 m<sup>2</sup>.



**Figura 27. Área construida de pabellones por Niveles de Prioridad**

Se nota que los resultados guardan proporcionalidad entre la cantidad de unidades, pabellones y área construida entre los niveles de prioridad.

La Tabla 6 muestra el detalle de la cantidad de bloques y su tipología estructural para los cinco niveles de prioridad. Los múltiples pabellones con distintos tipos estructurales en cada unidad se debe a los diferentes años de construcción y políticas públicas adoptadas en ese momento.. En los cuatro primeros niveles de prioridad, se puede notar que la mayor cantidad de pabellones tienen un desempeño estructural del tipo PRE. Solo en los dos primeros niveles, los más críticos, cuentan con pabellones del tipo A-PRE-B, referido a una estructura de adobe. Este tipo presentan alta vulnerabilidad y potencial de daño muy alto a sus ocupantes en caso de sismo. En el caso opuesto está el nivel 5, que cuenta con unidades que solo tienen estructuras del tipo POST, esto es congruente al desempeño estructural que no causa muertes o interrupciones de las actividades en escenarios específicos.

**Tabla 6. Cantidad de Pabellones (und) por Niveles de Prioridad y tipo de Sistema Estructural.**

Sistema Estructural	Prioridad					No Data
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	
A-PRE-B	37 (5%)	110 (6%)	-	-	-	-
MS-PRE-B	245 (33%)	628 (36%)	143 (12%)	372(11%)	-	-
GUE	-	9 (1%)	3 (0%)	45(1%)	-	-
PRE	365 (49%)	667 (39%)	971(78%)	2,398(71%)	-	-
PREF-PRE-B	34 (5%)	131 (8%)	40(3%)	233(7%)	-	-
POST	59 (8%)	184 (11%)	92(7%)	323(10%)	339(100%)	-
No Data	-	-	-	-	-	45 (100%)
<b>Total de Pabellones</b>	<b>740</b>	<b>1,729</b>	<b>1,240</b>	<b>3,367</b>	<b>352</b>	<b>45</b>

La Tabla 7 presenta los resultados de la priorización en área construida. Se indica la cantidad de m<sup>2</sup> construidos en bloques por cada nivel y por tipo de sistema estructural. Los bloques del tipo PRE son predominantes en todos los niveles de prioridad, seguido por el MS-PRE-B.

#### **4.5.3 NIVELES DE INTERVENCIONES**

La estrategia planteada para las Intervenciones es un plan a largo plazo. El objetivo final forjar un Sistema Educativo resistente y con alto nivel de resiliencia.

Una manera de alcanzar el objetivo final será por medio de las intervenciones para lograr niveles de desempeño físico estructural óptimo (establecido como el sistema estructural tipo POST) y para incrementar las características y capacidades que aportan una mayor resiliencia al sistema total. En ciertos casos el objetivo del desempeño físico estructural se realiza de manera incremental y en otros, el paso es directo.

##### **4.5.3.1 INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL**

La intervención estructural es toda modificación que altere sustancialmente el comportamiento físico estructural del pabellón ante eventos sísmicos.

**Tabla 7. Cantidad de Área construida(m<sup>2</sup>) de acuerdo al Nivel de Prioridad y Sistema Estructural.**

Sistema Estructural	Área construida de Pabellones (m <sup>2</sup> )				
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
A-PRE-B	6,645(4%)	35,483(8%)	-	-	-
MS-PRE-B	54,690(29%)	130,916(31%)	42,773(11%)	90,777(9%)	-
GUE	-	2,434(1%)	1,947(1%)	15,758(2%)	-
PRE	107,637(57%)	184,344(43%)	300,802(80%)	718,574(74%)	-
PREF-PRE-B	5,051(3%)	20,273(5%)	6,196(2%)	30,908(3%)	-
POST	13,218(7%)	54,597(13%)	24,919(7%)	120,297(12%)	86,443(100%)
<b>Total Área construida</b>	<b>187,240</b>	<b>428,047</b>	<b>376,637</b>	<b>976,314</b>	<b>86,443</b>

La Tabla 8 muestra el tipo de reforzamiento que se plantea ejecutar en cada Nivel de Prioridad. El tipo de reforzamiento **Total** se refiere a la intervención completa; es decir, cualquiera que sea el tipo estructural del bloque que pertenece a la unidad prioritaria, pasa a ser reforzada (estructuralmente) hasta lograr el nivel de desempeño óptimo (tipo POST).

El tipo de reforzamiento **Incremental** se refiere a la intervención progresiva en dos etapas (Etapa 1 y Etapa 2), de acuerdo al tipo estructural de cada bloque que pertenezca a la unidad prioritaria. La Etapa 1 logra alcanzar un desempeño estructural intermedio, establecido como el tipo estructural MS-REF y PRE-REF. Y la Etapa 2 será para alcanzar el tipo POST.

**Tabla 8. Tipo de Reforzamiento Estructural para cada Nivel de Prioridad**

Tipo de reforzamiento	Nivel de Prioridad				
	1	2	3	4	5
estructural	1	2	3	4	5
Incremental	-	X	-	X	-
Total	X	-	X	-	X

Los Niveles Prioridad 1 y 3 demandan una intervención total. Estas unidades prioritarias cuentan con características importantes que aportaran a la resiliencia del sistema, por lo que asegurar su óptimo comportamiento resulta estratégico para una recuperación más eficiente.

Los Niveles de Prioridad 2 y 4 exigen una intervención del tipo Incremental. La primera etapa es lograr un comportamiento estructural superior al actual, y la segunda etapa es alcanzar el objetivo final, un desempeño estructural óptimo. La diferencia se debe a que las unidades de estos niveles no aportan significativamente a la resiliencia del sistema, con respecto a los anteriores.

El Nivel de Prioridad 5, no demanda un reforzamiento estructural, ya que todos los bloques de esta prioridad, son del tipo POST, el objetivo final de la estrategia de reforzamiento estructural.

La Tabla 9 muestra el Sistema Estructural que debe desempeñar un bloque, luego de la intervención, de acuerdo a su Sistema Estructura actual y el Nivel de Prioridad al que pertenece el colegio al cual forma parte. En caso sea incremental, los bloques que queden en los niveles de desempeño intermedio, en una intervención posterior pasarán al desempeño óptimo (sistema POST), caso de los niveles 2 y 4.

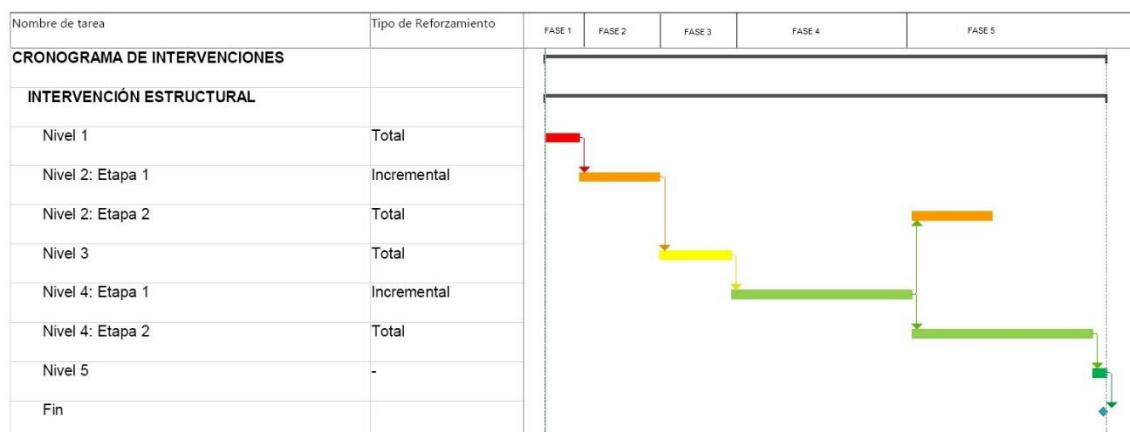
**Tabla 9. Tipo de Intervenciones por Nivel de Prioridad y Sistema Estructural – Fase 1 (1ra intervención para los incremental)**

Sistema Estructural	Nivel de Prioridad				
	1	2	3	4	5
<b>A-PRE-B</b>	POST	MS-REF	X	X	X
<b>MS-PRE-B</b>	POST	MS-REF	POST	MS-REF	X
<b>GUE</b>	POST	PRE-REF	POST	PRE-REF	X
<b>PRE</b>	POST	PRE-REF	POST	PRE-REF	X
<b>PREF-PRE-B</b>	POST	POST	POST	POST	X
<b>POST</b>	POST	POST	POST	POST	POST
<b>PRE-REF</b>	X	POST	X	POST	X
<b>MS-REF</b>	X	POST	X	POST	X

Los casos de intervención incremental generan una cronología no secuencial de acuerdo a los niveles de prioridad. Se proponen cinco (5) fases de intervención, como se muestran en la **Figura 1** Figura 28. Cada una de las fases es una intervención general por parte del estado. Las segundas etapas de la intervención incremental de los niveles 2 y 4, son realizadas al final del cronograma.

La Tabla 10 detalla los costos unitarios estimados para las intervenciones con los objetivos establecidas en la Tabla 9. Y también el costo para la Etapa 2 de los incrementales. La intervención total de una estructura del tipo A-PRE-B para lograr el

desempeño óptimo (tipo POST) tiene el mayor costo. Este costo implica la demolición de la estructura y reposición nueva de una estructura competente. Los costos no contemplan la instalación de aulas temporales.



**Figura 28. Cronograma de Intervenciones por Niveles de Prioridad.**

**Tabla 10. Costos unitarios de reforzamiento estructural por m<sup>2</sup>.**

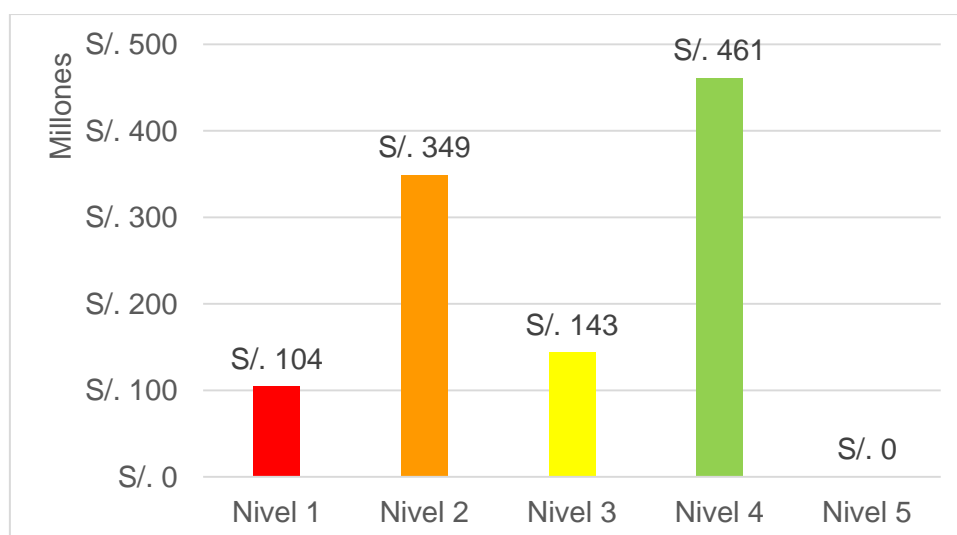
Sistema Estructural		Costo unitario de Intervención (S/. / m <sup>2</sup> )				
		Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
A-PRE-B		1100	770			
MS-PRE-B		1100	770	1100	770	
GUE		300	200	300	200	
PRE		300	200	300	200	
PREF-PRE-B		875	875	875	875	
POST		0	0	0	0	0
Etapa 2 del Reforzamiento Incremental	PRE-REF		200		200	
	MS-REF		770		770	

A partir de toda la información, se puede estimar los costos directos de la intervención estructural por niveles (ver Figura 29). El Gobierno requiere alrededor de S/.455 millones para atender los niveles de emergencia. Y un total de S/.1060 millones para reducir el riesgo en los colegios públicos de Lima Metropolitana.

#### 4.5.3.1 INTERVENCIÓN NO ESTRUCTURAL

La intervención No Estructural, es toda mejora que aporte a incrementar las capacidades del sistema en referencia a la resiliencia. Se puede direccionar las

intervenciones para modificar todos, algunos o el más importante de los parámetros de los factores de riesgo. En el presente trabajo se propone una intervención específica hacia el Factor de Riesgo más importante “Nivel de Organización o Sinergia en La Comunidad”. El tipo de intervención se muestra en la Tabla 11.



**Figura 29. Costo Parcial de Intervención Estructural por Niveles de Prioridad.**

**Tabla 11. Tipo de Intervención No Estructural para cada Nivel de Prioridad.**

Tipo de Intervención No estructural	Nivel de Prioridad				
	1	2	3	4	5
Continuidad de Capacitaciones	X	-	X	-	-
Intensificación de Capacitaciones	-	X	-	X	X
Control y Seguimiento	X	X	X	X	X

La intervención estará basada en capacitaciones para mejorar la respuesta durante y después del desastre, alineado a la sinergia en la comunidad y su organización. El tipo de intervención de **Continuidad de Capacitaciones** está dirigido a aquellos colegios con ISP alto. Se refiere a continuar las capacitaciones de los programas actualmente implementados sobre la Gestión de Riesgos.

El tipo de intervención de **Intensificación de Capacitaciones** está dirigido a aquellos colegios con ISP bajo. Se refiere a desarrollar un programa similar al existente pero intensivo sobre la Gestión de Riesgos, lo que implica mayor cantidad de horas y recursos asignados a estos colegios.

## 5. VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA:

---

Se propone validar la metodología desarrollada por medio de comparaciones con otras existentes como las recomendada por la PRONIED, el Banco Mundial o la DRELM.

La PRONIED prioriza intervenciones basándose en el nivel de daño estructural de cada bloque. El nivel de daño se determina para un escenario específico (sismo ocasional) por cada bloque estructural. El bloque del colegio que presente el mayor nivel de daño (bloque más vulnerable) será considerado “crítico”. De esta manera, el nivel de prioridad del colegio será asignado según el bloque crítico.

El Banco Mundial recomienda la priorización de intervenciones por medio de la Pérdida Anual Esperada Absoluta. Este se determina como la suman las pérdidas esperadas absolutas, en términos monetarios, de todos los bloques estructurales que pertenezcan a un colegio. Los colegios que presenten mayores pérdidas económicas serán priorizadas.

La DRELM prioriza un colegio en cada Red Educativa (conjunto de colegios agrupados en una zona específica). Los colegios prioritarios son los que cuentan con mejores condiciones para la respuesta post desastre. Es decir, se han priorizado a aquellos colegios que cuenten con mejor infraestructura, servicios básicos, mayor área libre usable, entre otras características. La selección ha sido realizada por consenso entre los directores de los colegios pertenecientes a cada red. En esta priorización se asigna un mismo nivel de prioridad a todos los colegios seleccionados.

En este capítulo se simulan dos órdenes de priorización que siguen los lineamientos de las dos primeras metodologías: PRONIED (M2); y Banco Mundial (M3). Estas son

comparadas con la metodología propuesta en este trabajo (M1). También se presentan los resultados de la tercera metodología (DRELM). Luego, se comparan los resultados obtenidos de cada metodología, y se analizan los posibles efectos (directos e indirectos) de aplicar cada una de ellas con respecto a la metodología propuesta en este trabajo.

Las dos primeras comparaciones de metodologías se realizan tomando en cuenta los cincuenta primeros colegios prioritarios de cada metodología (top 50). Se analizan dos casos: a) un colegio que esté dentro del top 50 de una metodología y que quedaría fuera del top 50 en otra metodología, y b) un caso contrario. La tercera metodología se compara a nivel general debido a que no existe un número de orden dentro del grupo de colegios prioritarios. La información de los colegios y los datos tomados en cuenta para la comparación se muestran en las Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14. Los mapas con la ubicación de los colegios comparados se muestran en la Figura 30, Figura 31 y Figura 32.

### **5.1 Comparación 1: priorización M1 vs M2**

En la Comparación 1 se analizan dos casos representativos de los colegios prioritarios de la metodología propuesta (M1) y los posibles prioritarios de acuerdo a los lineamientos de la metodología de la PRONIED (M2). El caso 1A es un colegio que contiene entre sus bloques al menos uno de adobe (tipo A-PRE-B). En el Análisis Físico Estructural se muestra un alto nivel de vulnerabilidad, representado por el porcentaje de daño en los dos escenarios analizados (sismo ocasional y muy frecuente). En el Análisis por Capacidades de Resiliencia e Inclusión Social se muestra un ISP alto, debido a los altos indicadores de los FR calculados. Estos resultados conllevan a que sea un colegio prioritario para ambas metodologías. La diferencia radica en que para la metodología M1, dicho colegio resulta mucho más importante que para la M2 (prioridad 48 en M1 respecto a 157 en M2). Esto se debe a que se considera un colegio con mejores características generales que aportan a la resiliencia e inclusión social del Sistema Educativo.

Se pueden distinguir las características del colegio 1A que influyen en su alto ISP, y que lo convierten en un colegio prioritario (dentro del top 50), considerando la metodología M1. Una de las características más importantes es su área libre usable, que se ve reflejada en el puntaje del factor: 0.86 de 1. Esta característica es importante pues permitirá la colocación de módulos prefabricados que reemplazarán

aquellos pabellones que queden inoperativos después de un evento sísmico. Esto hará posible la continuidad de las clases y el funcionamiento del sistema educativo. Otra característica importante es su buena accesibilidad, reflejada en sus factores 0.65 y 0.60 sobre 1, correspondiente al número de vías y distancia a la vía más cercana, respectivamente. Ésta característica permitirá al colegio una mejor evacuación y, teniendo en cuenta su gran área libre usable, permitirá al colegio convertirse en un lugar de acopio de materiales para la atención, pues por su fácil acceso será posible una mejor distribución de materiales. Estas dos características (área libre usable y accesibilidad) contribuyen a la resiliencia del sistema educativo.

Por otro lado, existen otras dos características que están relacionadas a contribuir con la inclusión social del sistema. Dichas características son su alta densidad estudiantil y poblacional, que pueden ser enfocadas de dos maneras: a) indican una mala condición de habitabilidad del entorno y evacuación del colegio, debido al hacinamiento de la población, y b) la priorización de este colegio beneficiará a una mayor cantidad de alumnos y población debido a su alta densidad. La importancia de estos factores se ve reflejada en sus puntajes: 1.00 y 0.92 sobre 1 para la densidad estudiantil y poblacional, respectivamente. Existen otros factores importantes con alto peso en el ISP, como el FR7 (nivel de organización, que pesa 22%), que no presenta un puntaje alto en el colegio, y por lo tanto no tiene un alto impacto en el puntaje final del colegio, reflejado en su ISP (0.62).

Las características mencionadas, cuantificadas y evaluadas, convierten a este colegio en un foco importante para la atención post desastre y para la inclusión social. Considerando lo anterior, la resiliencia del sistema se vería incrementada si este colegio se mantiene operativo luego de un evento sísmico. Además, su priorización ayudará a integrar y facilitar la inclusión social de la población estudiantil y del entorno del colegio.

De no ser intervenido el colegio, y de ocurrir un sismo como el del escenario ocasional, los ocupantes, sufrirían lesiones graves y/o mortales a consecuencia de los niveles de daño de la infraestructura. Estos daños causarían la inoperatividad del colegio y por ende, no se podría aprovechar las áreas libres importantes ni la buena accesibilidad con la que cuenta, A su vez, la inoperatividad del colegio haría inviable utilizarlo como un centro de gestión de ayuda para la población de su entorno. Por el contrario, en caso de ser intervenido, los bloques críticos, no serían un peligro inminente para sus ocupantes, la infraestructura se mantendría operativa y sus características positivas

para la resiliencia serían aprovechables. Además, la intervención contribuiría a integrar e incluir socialmente al colegio y su entorno, al estar ubicado en una zona de nivel socioeconómico medio y contar con alta densidad poblacional y estudiantil.

El caso 1B es un colegio que contiene entre sus bloques al menos uno de adobe (tipo A-PRE-B). En el Análisis Físico Estructural muestra una alta vulnerabilidad, mayor a la del colegio 1A, debido a las condiciones del tipo de suelo sobre el que se encuentra. En el Análisis por Capacidades de Resiliencia se muestra un ISP bajo. Con estos resultados, la metodología M1 ubica al colegio en el Nivel 2 de prioridad (prioridad 142) por no aportar significativamente a la resiliencia del Sistema Educativo. Por otro lado, la metodología M2 lo califica como prioridad 1, por su alto nivel de daño. De seguir los lineamientos de M2, se intervendría primero al que tiene mayor daño, mas no al que tiene características importantes que aportan a la resiliencia y contribuyen a la inclusión social. Las consecuencias serían notables en los efectos indirectos, ya que habría una mayor cantidad de alumnos perjudicados por la interrupción de clases. Se puede observar que el colegio presenta mayores inconvenientes para su accesibilidad, por lo que sería poco aprovechable en la etapa post desastre.

Analizando a detalle el colegio 1B, se puede observar que presenta altos niveles de daño en sus bloques críticos en un escenario ocasional. Y la cantidad de ocupantes es importante (FR4), por lo que causarían significativas lesiones o muertes. Sin embargo, varias de sus características determinan un nivel bajo del ISP, lo que indica que tiene un nivel de prioridad menor que el caso 1A. La causa es que este colegio no cuenta con áreas libres usables (FR1=0), tampoco servicios básicos completos (FR2=0), y tiene una accesibilidad desequilibrada (varias vías en su entorno pero poco cercanas al colegio, reflejada en sus factores 0.73 y 0, respectivamente). Sin embargo tiene una alta cantidad de población expuesta u ocupantes (FR4) y la zona en la que se ubica tiene un alto nivel de densidad. La cuantificación de estos parámetros y la suma ponderada de estas características (algunas a favor y otras en desventaja) le otorgan al colegio un ISP bajo.

De no ser intervenido, los niveles de daño serían importantes, la inoperatividad se presentaría, las características mencionadas no serían aprovechables, pero tampoco serían tan beneficioso como en el caso anterior. Por el contrario, de ser intervenido antes que el caso 1A, se mantendría en operatividad un colegio en el que varias características no pueden ser aprovechables por su deficiencia. En consecuencia, la

resiliencia y la inclusión social no es incrementada en la misma magnitud que el caso del colegio 1A.

Se puede observar que en ambos casos (colegios 1A y 1B) se logra salvaguardar la vida de muchos ocupantes. Sin embargo, la diferencia está en que la priorización del colegio 1A generaría mayores beneficios en la resiliencia del sistema educativo al momento de atender la emergencia, reactivar las actividades educativas e integrar socialmente a la población estudiantil y del entorno. En general, se puede concluir que utilizando como variable de priorización solamente el valor de daño estructural, se estaría dejando de lado la intervención colegios que además contribuyen a mejorar la resiliencia e inclusión social del sistema.

## **5.2 Comparación 2: priorización M1 vs M3**

La Comparación 2 es un caso representativo de los colegios prioritarios de la metodología propuesta (M1) y los posibles prioritarios de acuerdo a los lineamientos de la metodología del Banco Mundial (M3). El caso 2A es un colegio que contiene entre sus bloques al menos uno de adobe (tipo A-PRE-B). En el Análisis Físico Estructural se notan altos niveles de vulnerabilidad, representado por los importantes niveles de daño en los escenarios evaluados, incluso mayor al caso 1A. En el Análisis por Capacidades de Resiliencia e Inclusión Social se muestra un ISP medio-alto (0.54), reflejo de los altos indicadores los FR calculados. La metodología M1, resulta como prioridad 1 respecto al 914 establecido por la metodología M2. La razón por lo que M2 lo posiciona de esta manera, es porque la pérdida absoluta del colegio es baja (S/. 23,744) es por el tamaño relativamente pequeño del bloque, y no suma importantes pérdidas junto con sus demás bloques.

El caso 2A es un colegio con altos niveles de daño en su bloque crítico en un escenario ocasional. No cuenta con área libre usable importante, pero sí con servicios básicos disponibles. Se ubica en una zona con accesibilidad desequilibrada (buena cantidad de vías principales, pero relativamente alejadas, reflejada en sus factores 0.73 y 0 respectivamente). La densidad poblacional del entorno es intermedia, por lo que puede llegar a ser un foco importante para su ayuda (FR5=076). Y por último se observa una importante intervención de la comunidad para organizarse y alcanzar logros en pro a su comunidad, el cual es su factor más importante. Todas estas características aportan significativamente a la resiliencia del Sistema Educativo y la integración e inclusión social del entorno, por lo tanto su ISP será alto.

De no ser intervenido, no se resguardaría la vida ni se aprovecharía el potencial con el que cuenta para lograr un mejor desempeño para la atención a la emergencia y recuperación. Por otro lado, si es intervenido se reduciría el número de víctimas o heridos, se contaría con un foco estratégico para la atención a la emergencia de la población estudiantil y del entorno.

El caso 2B muestra un caso contrario al 2A. Se ubica como prioridad 978 y M2, como prioridad 7. Este colegio no tiene bloques que pueden causar muertes o importantes daños físicos a sus ocupantes, y sus características generales no tienen un importante aporte a la resiliencia del sistema. Por otro lado, el tamaño de los bloques y su sistema estructural del tipo PRE, causan altas pérdidas económicas en conjunto.

El caso 2B, es un colegio con niveles de daño moderado en un escenario ocasional, lo que no conlleva a muertes o lesiones de gravedad, pero sí la inoperatividad. Además por su tamaño y sistema estructural generan importante pérdidas económicas por los daños de su infraestructura. Entre sus características que aportan a la resiliencia e inclusión social, se nota que cuenta con importantes áreas libres usables, servicios básicos completos y está ubicado en una zona de nivel socioeconómica media. Sin embargo, no cuenta con una adecuada accesibilidad, la población estudiantil expuesta y del entorno es bastante bajo por lo que intervenirlo no tendría un gran impacto social.

De no ser intervenida, se generarían importantes costos de reparación para el Estado. Las áreas libres no serían aprovechadas ni la calidad de sus servicios básicos. Pero la necesidad de ayuda y atención de la zona no es tanta como la que exige en casos anteriores. Por otro lado, de ser intervenida, se reducirían las pérdidas económicas. Las áreas libres y servicios básicos serían aprovechadas por la reducida cantidad de habitantes y damnificados. En cualquier caso, la resiliencia del sistema no es incrementado significativamente por el nivel de impacto o influencia del colegio en la zona.

Entonces, de seguir a M3, reduciríamos pérdidas económicas, pero podrían haber pérdidas humanas no contempladas por su tipo de análisis. Se seleccionarían colegios con alta prioridad pero que realmente no son una emergencia en relación al daño físico humano. Pero se reducirían las pérdidas económicas relacionadas solo al daño físico de la infraestructura. Por otro lado, de seguir a M1, se evitan pérdidas humanas y daños físicos, además de incrementar la resiliencia global del Sistema Educativo.

**Tabla 12. M1: Metodología propuesta en esta investigación.**

Caso	Código	Distrito	ANÁLISIS FÍSICO ESTRUCTURAL				ANÁLISIS POR CAPACIDADES DE RESILIENCIA E INC.SOCIAL									Nivel de Prioridad
			Sistema Estructural Crítico	Des. Esc	Des. Esc.	PAE	FR1	FR2	FR3a	FR3b	FR4	FR5	FR6	FR7	ISP	
				Muy Frecuente (%daño)	Ocasional (%daño)	Abs (S/.)	(AL)	(CSB)	(NV)	(DV)	(DE)	(DP)	(ESE)	(ORG)		
						15%	12%	6%	11%	16%	10%	8%	22%			
1A	333532	SMP	A-PRE-B	39%	74%	4,896	0.86	0	0.65	0.6	1	0.92	0.5	0.43	<b>0.62</b>	48
1B	139592	Callao	A-PRE-B	63%	95%	18,952	0	0	0.73	0	0.83	0.76	0.5	0.67	<b>0.44</b>	142
2A	553171	Callao	A-PRE-B	63%	95%	23,744	0.02	0.5	0.73	0	0.57	0.76	0.5	1	<b>0.54</b>	1
2B	139785	Callao	PRE	27%	55%	279,264	1	1	0.23	0	0	0	0.5	0	<b>0.33</b>	978

- Código del Colegio: Código del colegio establecido por el MINEDU.
- Sistema Estructural Crítico: Es el sistema estructural más vulnerable de todos los pabellones que conforman el colegio.
- Des. Esc. Muy Frecuente: Desempeño estructural en un evento sísmico Muy Frecuente (magnitud Mw=7.04). El desempeño muestra el nivel de daño en %.
- Des. Esc. Ocasional: Desempeño estructural en un evento sísmico Ocasional (magnitud Mw=8.21). El desempeño muestra el nivel de daño en %.
- PAE Abs: Pérdida Anual Esperada Absoluta por colegio en nuevos soles (S/.).
- FR: Factor de Riesgo, revisar capítulo 5.4.
- ISP: Índice Social de Priorización.
- FR 1: Espacio para Instalaciones y Almacenamiento Post Desastre
- FR 2: Cobertura de Servicios Básicos
- FR 3: Accesibilidad
- FR 4: Población Estudiantil Expuesta
- FR 5: Demanda de atención post desastre
- FR 6: Desigualdad Social
- FR 7: Nivel de Organización o Sinergia en La Comunidad

**Tabla 13. M2: Metodología alineada con la propuesta recomendada por el Banco Mundial.  
Clasificación por el nivel de daño en el pabellón crítico del colegio.**

Caso	Código Colegio	Distrito	Análisis		
			Sistema Estructural Crítico	Des. Esc. Ocasional (%daño)	Nivel de Prioridad
1A	333532	SMP	A-PRE-B	74%	157
1B	139592	Callao	A-PRE-B	95%	1
2A	553171	Callao	A-PRE-B	95%	2
2B	139785	Callao	PRE	55%	766

**Tabla 14. M3: Metodología alineada con la propuesta recomendada por el Banco Mundial.  
Clasificación por el nivel de Pérdida Anual Esperada Absoluta por colegio.**

Caso	Código Colegio	Distrito	Análisis		
			Sistema Estructural Crítico	PAE Abs (S/.)	Nivel de Prioridad
1A	333532	SMP	A-PRE-B	4,896	1,677
1B	139592	Callao	A-PRE-B	18,952	1,084
2A	553171	Callao	A-PRE-B	23,744	914
2B	139785	Callao	PRE	279,264	7

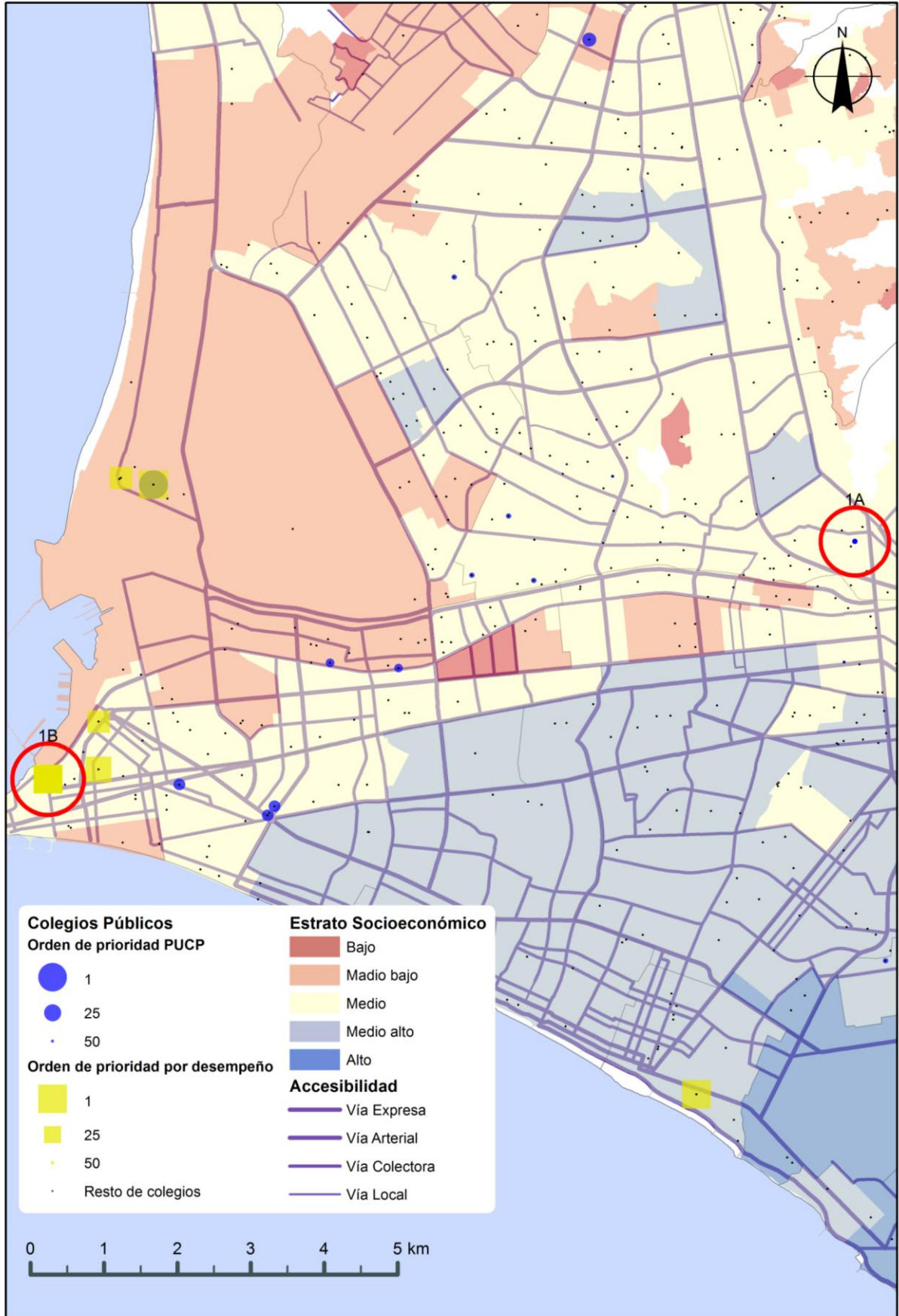


Figura 30. Mapa de Comparación 1 de Metodologías M1 y M2.

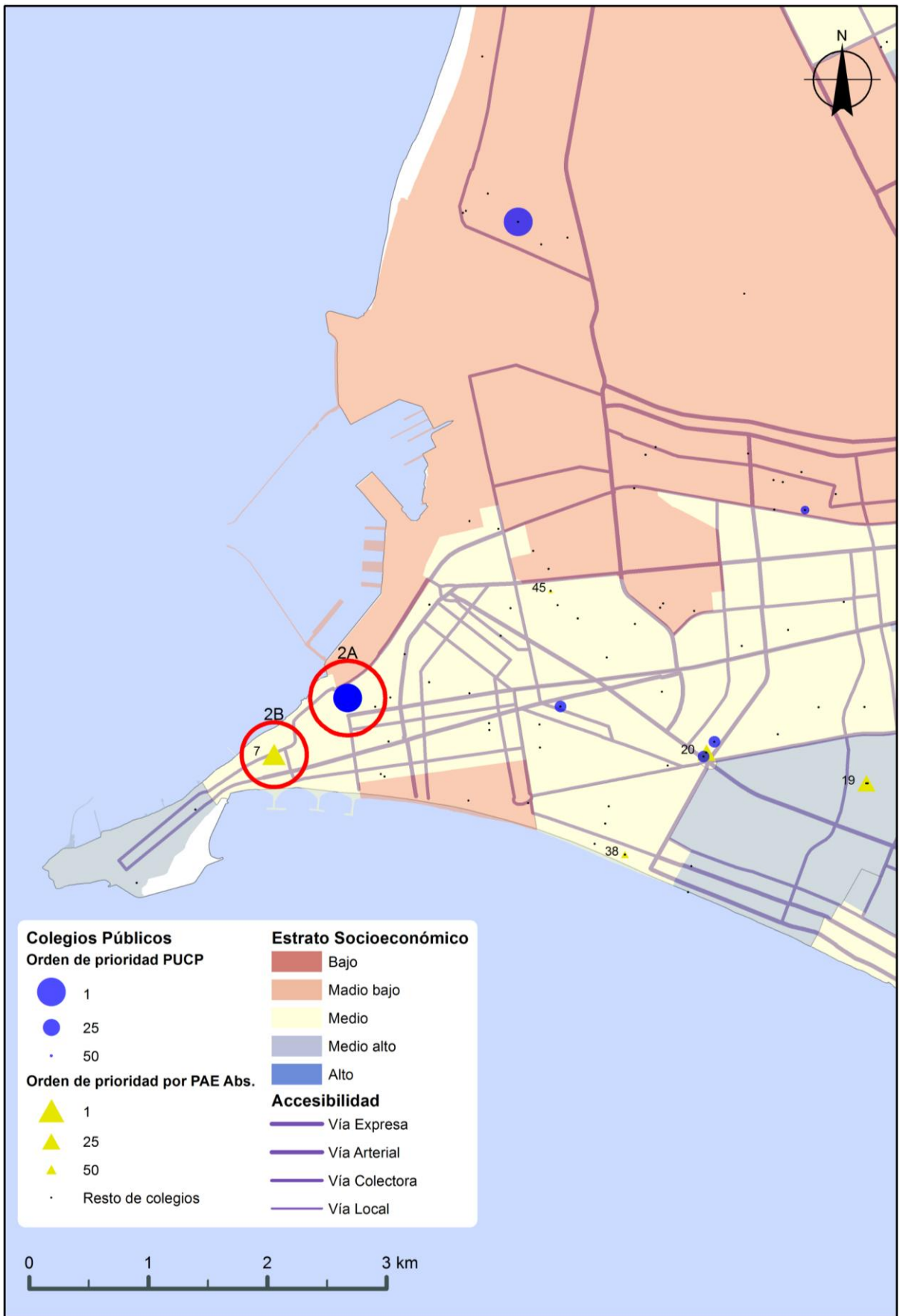


Figura 31. Mapa de Comparación 2 de Metodologías M1 y M3.

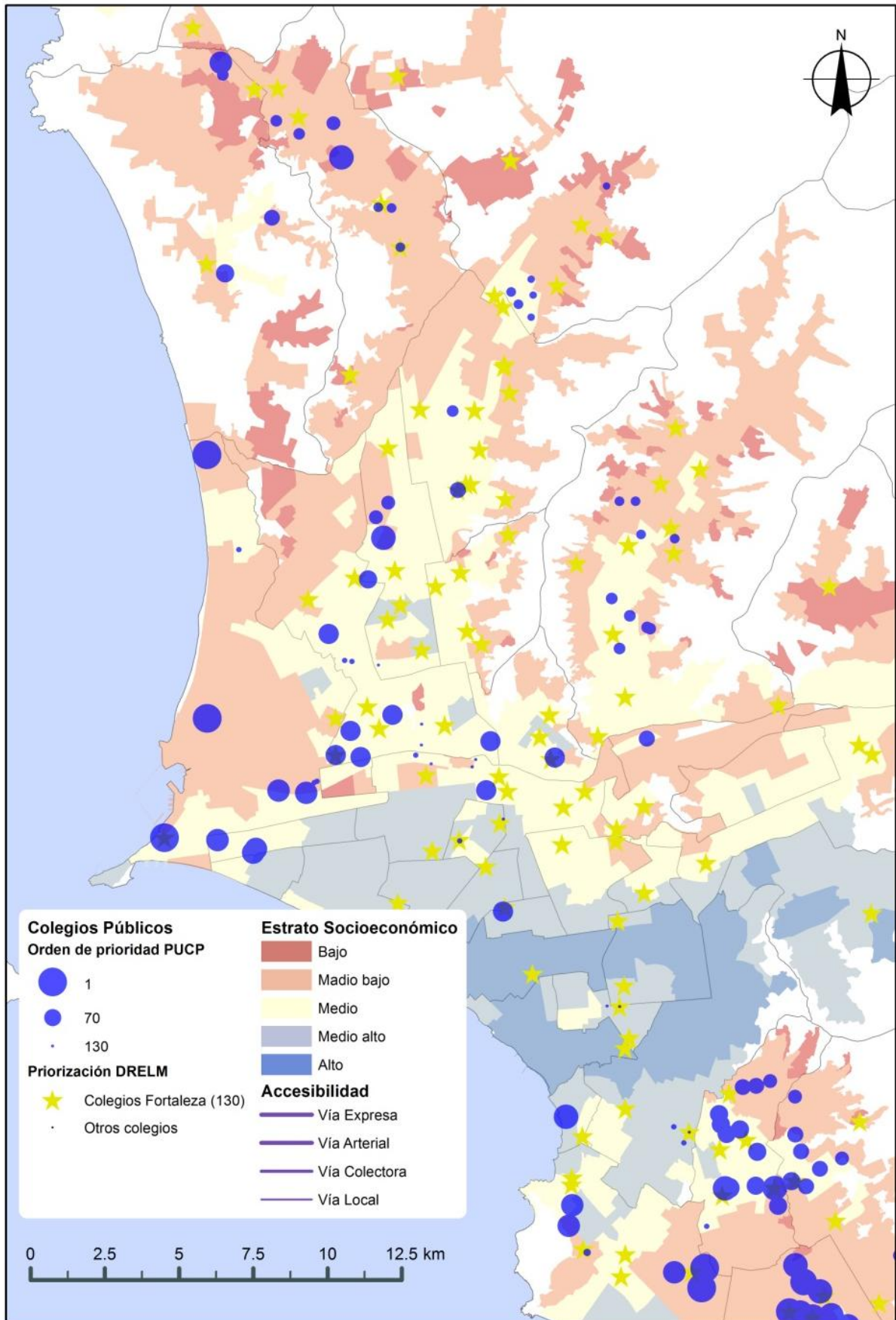


Figura 32. Mapa de Comparación 3 de Metodologías M1 y M4.



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

La metodología propuesta ha logrado integrar satisfactoriamente variables que reflejan la realidad del contexto, las necesidades del Sistema Educativo y de la población del entorno, y las recomendaciones de académicos y estándares internacionales. Se han empleado métodos de análisis de múltiples criterios, el consenso entre los stakeholders, el trabajo interdisciplinario, evaluaciones técnicas estructurales y varias iteraciones para asegurar la practicidad y eficiencia del método.

La data de la PUCP del proyecto de Estimación de Riesgo Sísmico de Colegios contemplaba el 80% de información del total de colegios públicos de Lima, por lo que el apoyo del MINEDU por medio de la data del Censo de Infraestructura Educativa del 2013 se logró alcanzar el 98% del universo. La información reunida se ha sistematizado por colegio y bloque estructural para la elaboración de la metodología y sus pruebas previas para su perfeccionamiento.

La metodología fue aplicada a la realidad de los colegios públicos de Lima Metropolitana. Y el resultado demanda una intervención estructural de 512 colegios (28%) por su urgencia de salvaguardar las vidas. Y solo el 6% no requiere intervención estructural.

La comparación entre los lineamientos empleados por la PRONIED y lo recomendado por el Banco Mundial, se pueden notar que tienen objetivos específicos diferentes y fácilmente complementables con esta propuesta. Por un lado la PRONIED se preocupa por reducir los niveles de daño de los ocupantes como efecto directo, pero no contempla una visión general de los efectos indirectos que también son reducibles con los mismos recursos. En el otro caso, el Banco Mundial, se preocupa por los

niveles de pérdidas económicas que podría alcanzar el Estado Peruano de ocurrir un desastre, y su propuesta busca reducir estas consecuencias económicas que también son parte de los efectos directos del desastre. La Validación La propuesta mejora los resultados porque se enfoca en los efectos directos e indirectos de un desastre. Entonces este reduce ambos para hacer una mitigación del riesgo importante. La propuesta pretende salvar las vidas, reducir los niveles de daño de la infraestructura y a su vez seleccionar aquellos colegios que serán más convenientes usarlos para la atención de la emergencia y recuperación con respecto a los colegios que no cuentan con las capacidades adecuadas para tal fin.

## 7. REFERENCIAS

---

- ASCE, 2000. *Seismic Rehabilitation Of Buildings (FEMA 356)*, Washington, D.C.: FEMA.
- ATC, 2009. *Engineering guideline for incremental seismic rehabilitation (FEMA P-420 report)*, Whashington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- Bana-e-Costa, Oliveira & Vieira, 2008. Prioritization of bridges and tunnels in earthquake risk mitigation using multicriteria decision analysis: Application to Lisbon. *Omega*, 36(3), pp. 442-450.
- Barbat, A. y otros, 2010. Seismic vulnerability and risk evaluation methods for urban areas. A review with application to a pilot area. *Structure and Infrastructure Engineering*, 6(1-2), pp. 17-38.
- Bernal, I. & Tavera, H., 2002. *Geodinámica, sismicidad y energía sísmica en el Perú*, Lima: Centro Nacional de Datos Geofísicos-IGP.
- BID, 2002. *Estudio previo para la Fase II del Diálogo Regional de Política del BID sobre Sistemas Nacionales para la Gestión Integral de Desastres: Financiamiento de la Reconstrucción*, s.l.: BID.
- Campana Y., A. J. V. D. y. G. E., 2013. Inversión en infraestructura educativa: una aproximación a la medición de sus impactos a partir de la experiencia de los colegios emblemáticos.
- Cardona A., O. D., 2001. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo: una crítica y revisión necesaria para la gestión.. *International Work-Conference on vulnerability in Disaster Theory and practice*, pp. 29-30.
- Caterino, Iervolino, Manfredi & Cosenza, 2009. Comparative analysis of multi-criteria decision-making methods for seismic structural retrofitting. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 24(6), pp. 432-445.

- CISMID, 2005. *Bases técnicas para la estimación de pérdidas con fines de seguros de terremoto. Informe preparado para la APESEG y la SBS*, Lima: CISMID-UNI.
- FEMA, 2003. *Incremental seismic rehabilitation of school buildings (FEMA 395 report)*, Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- Fernández de Córdova, G., 2012. *Nuevos patrones de segregación socioespacial en Lima y Callao 1990-2007*, Lima: PUCP.
- Giovinazzi & Pampanin, 2007. *Multi-Criteria approaches for Earthquake Retrofit Strategies at Regional scale*. s.l., s.n.
- Grant, D. y otros, 2007. A prioritization scheme for seismic intervention in school buildings in Italy. *Earthquake Spectra*, 23(2), pp. 291-314.
- Grimaz, S. y otros, 2011. Decision-making supports for seismic risk mitigation of schools at a regional scale: the assess project. *GNGTS*, II(3), pp. 375-380.
- IDEA, 2005. *Indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgos*, Manizales: Insituto de Estudios Ambientales - Universidad Nacional de Colombia.
- INDECI-PNUD, 2010. *Proyecto SIRAD: Sistema de Información sobre Recursos para Atención de Desastres*, Lima: COOPI.
- INEI, 2008. *Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda*, Lima: INEI.
- Kunsch, 1990. Multicriteria Decision Analysis for Nuclear Technology Assessments. En: *THE ROLE OF ADVANCED NUCLEAR POWER TECHNOLOGIES IN DEVELOPING COUNTRIES: CRITERIA AND DESIGN REQUIREMENTS*. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY AND HELD, pp. 101-105.
- Majid & Yousefi, 2012. *Prioritization of Highway Bridges for Seismic Retrofitting Using Multi Criteria Decision Making*. s.l., 15 WCEE.
- Marsh, Dolan, Kempster & Lugon, 2013. Prioritizing investments in public health: a multi-criteria decision analysis. *Journal of Public Health*, 35(3), pp. 460-466.
- Muñoz, A. & Blondet, M., 2007. *Reducción de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones escolares peruanas en alto riesgo*, Lima: PUCP.
- Muñoz, A., Blondet, M., Aguilar, R. & Mm, A., 2007. Empirical fragility curves for peruvian school buildings. *Earthquake Resistant Engineering Structure*, 93(VI), pp. 269-277.
- Nussbaum, M., 2012. *Crear capacidades*. Primera ed. Madrid: Paidós.
- PREDES, 2011. *Evaluación de vulnerabilidad de infraestructura de salud y educación en Lima y Callao*, Lima: COSUDE.
- Rikalovic, Cosic & Lazarevic, 2014. GIS based multi-criteria analysis for industrial site selection. *Procedia Engineering*, Volumen 69, pp. 1054-1063.
- RNE NTE E.070, 2006. *Albañilería*, Lima: SENCICO.

Santa Cruz, S. C., 2013. *Informe Interno TAP 2. Evaluación probabilista del riesgo sísmico de escuelas y hospitales de la ciudad de Lima. Componente 2: Evaluación probabilista del riesgo sísmico de locales escolares en la ciudad de Lima*, Lima: PUCP.

Santa Cruz, S. C., 2015. *Experiences and results of the participative workshop on seismic risk reduction in the student population of Lima, Peru*. North Caroline, INSS-UNC Charlotte.

Tesfamariam, S. & Wang, Y., 2012. Risk-Based Seismic Retrofit Prioritization of Reinforced Concrete Civic Infrastructure: Case Study for State of Oregon Schools and Emergency Facilities. *Nat. Hazards Rev.*, 13(1), pp. 188-195.

Valdivia Fernández, H., 2012. *Mejora de la Gestión de territorio mediante la Reducción de Riesgo de Desastres*. s.l.:s.n.

## **ANEXOS I – Base de Datos de Colegios**

---

Incluyen todos los indicadores y valores asignados

## **ANEXOS II – Funciones de Transformación de los Factores de Riesgo**

---

## **ANEXOS III – Clasificación de Colegios por Niveles de Prioridad**

---

Se anexa la lista de colegios por niveles de prioridad

## **ANEXOS IV – Material del Taller**

---

Se adjuntan los planos, fotos, relatoría e informe final

## **ANEXOS V – Resultados de análisis de riesgo de la estrategia PLAN LIMA**

---

## **ANEXOS VI – Resultados de análisis de riesgo de la estrategia DRELM**

---

## **ANEXOS VII – Resultados de análisis de riesgo de la estrategia PUCP**

---

## **ANEXOS VIII – Cronograma del Plan de trabajo para la tesis**

---