

La economía de las ciudades bajas en carbono y resilientes al clima

Lima-Callao, Perú



La economía de las ciudades bajas en carbono y resilientes al clima

Lima-Callao, Perú

Hoy

La facturación por el consumo de energía, agua y residuos genera anualmente una pérdida económica del 8% del PBI a nivel de la ciudad. Se proyecta un crecimiento significativo para el 2030.



La economía pierde el 8% del PBI

Mañana

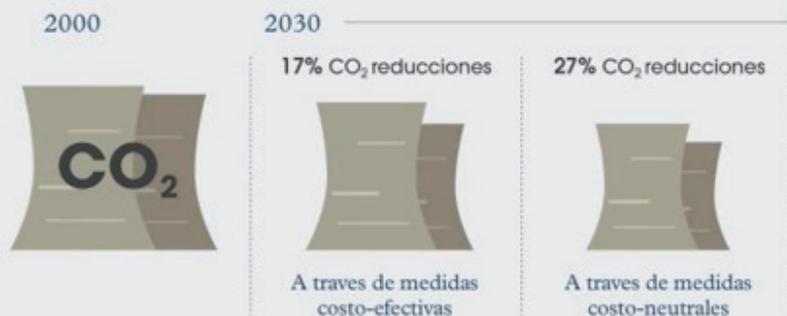
Inversión de 0.8% del PBI

Conduce a

En los siguientes 10 años, se puede invertir anualmente el 0.8% del PBI para aprovechar comercialmente oportunidades atractivas para la eficiencia de la energía y el agua y promover bajas emisiones de carbono y un desarrollo resiliente.

- **Energía y Agua**
reducción en la facturación de energía equivalente a 1.5% del PBI
- **Viabilidad financiera**
las medidas costo efectivas se pagan en 3 años y las costo neutrales en 5 años
- **Empleo**
más trabajo y capacitación sobre los bienes y servicios de bajo carbono
- **Mayores beneficios económicos**
seguridad energética, incremento de la competitividad, PBI adicional, menor dependencia de combustibles fósiles
- **Mayores beneficios sociales y ambientales**
menor contaminación del aire, mejoras en la salud, menor ruido, mejora del transporte público

➤ Potencial de reducir las emisiones de CO₂



La economía de las ciudades bajas en carbono y resilientes al clima

Lima-Callao, Perú

Andy Gouldson, Faye McAnulla, Paola Sakai,
Andrew Sudmant, Sofia Castro y Cayo Ramos

Editado por: Carlos E. Ludeña



Embajada Británica
Lima



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



Municipalidad Metropolitana
de Lima



Centre for
Climate Change
Economics and Policy

Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo

La economía de ciudades resilientes y de bajas emisiones de carbono: Lima-Callao, Perú / Andy Gouldson, Faye McAnulla, Paola Sakai, Andrew Sudmant, Sofia Castro, Cayo Ramos; Carlos E. Ludeña, editor.

138p. 29.7cm. – (Monografía del BID; 213)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Energy consumption—Economic aspects—Lima (Peru). 2. Climate change mitigation—Economic aspects—Lima (Peru). 3. Climatic changes—Adaptation—Lima (Peru). 4. Environmental economics—Lima (Peru). I. Gouldson, Andy. II. McAnulla, Faye. III. Sakai, Paola IV. Sudmant, Andrew V. Castro, Sofia VI. Ramos, Cayo VII. Ludena, Carlos E., editor. IX. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático y Sostenibilidad. X. Serie.

IDB-MG-213

Clasificación JEL: O18, O21, Q25, Q41, Q54, R58

Palabras clave: Cambio climático, mitigación, adaptación, inversiones, ciudades, Lima

Este estudio fue coordinado por Carlos Ludeña y Jaime Fernández-Baca del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Patricia Iturregui y Karinna Berrospi de la Embajada Británica en Lima, en colaboración con el Ministerio de Ambiente de Perú (MINAM) y la Municipalidad de Lima.

Esta investigación y estudio fueron realizados y desarrollados por Andy Gouldson, Faye McAnulla, Paola Sakai y Andrew Sudmant (University of Leeds, UK), Sofia Castro (Pontificia Universidad Católica, Perú) y Cayo Ramos (Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú), con los comentarios de Maria Elena Gutierrez y David García (Plan CC), Juan Carlos Dextre (PUCP), Bruno Seminario (Universidad del Pacífico), Michaela Seelig y David Ryfisch (BID), Alfonso Córdova (MINAM), Liliana Miranda (Foro Ciudades para la Vida) y Dante Lagatta (Biopower Capital). Se agradece especialmente a las personas y sus respectivas instituciones que contribuyeron en el desarrollo de este reporte y participaron de talleres y entrevistas.

Citar como:

Gouldson, A., F. McAnulla, P. Sakai, A. Sudmant, S. Castro, C. Ramos. 2015. La economía de ciudades resilientes y de bajas emisiones de carbono: Lima-Callao, Perú. Carlos E. Ludeña, (editor), Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 213, Washington DC.

Las opiniones expresadas en esta publicación son las de sus autores y no necesariamente reflejan el punto de vista de la Embajada Británica en Lima, el MINAM, la Municipalidad de Lima o del Banco Interamericano de Desarrollo, su Junta de Directores, o la de los países que ellos representan.

La información de este reporte es para propósitos informativos y educativos y no constituye una recomendación de inversión; las medidas presentadas son ilustrativas y simulan situaciones hipotéticas y los supuestos están sujetos a actualización y modificación. La metodología y enfoque de este estudio es propiedad de los autores y de la Universidad de Leeds.

Se prohíbe el uso comercial o personal no autorizado de este documento, y tal podría castigarse de conformidad con las legislaciones aplicables.

© 2014 Banco Interamericano de Desarrollo y Embajada Británica en Lima

Todos los derechos reservados; este documento puede reproducirse libremente para fines no comerciales.

Contenido		Pg.
Prefacios		7
Introducción		11
Nuestro enfoque		12
El caso de la inversión en eficiencia energética y en un desarrollo bajo en carbono		13
El caso de la inversión en un desarrollo resiliente al clima y eficiente en el uso del agua		18
Conclusiones y Recomendaciones		20
Capítulo 1. Introducción, contexto, fines y objetivos		21
Capítulo 2. Enfoque del análisis		26
Capítulo 3a. Los hallazgos clave para Lima-Callao: Energía y desarrollo bajo en carbono		31
Capítulo 3b. Los impactos de las tendencias del escenario sin cambios y del cambio climático en el agua		36
Capítulo 4. El análisis multicriterio		75
Capítulo 5. Plan preliminar de implementación y financiamiento		81
Capítulo 6. Análisis, conclusiones y recomendaciones		89
Anexos		
Anexo A. Los participantes		90
Anexo B. Las fuentes de datos, los métodos y los supuestos clave		94
Anexo C. Clasificación de las medidas más costo efectivas		114
Anexo D. Las medidas más eficientes para reducir las emisiones de carbono		118
Anexo E. Urbanización con bajo nivel de carbono		122
Anexo F. Ranking de las medidas más atractivas		124
Anexo G. Barreras actuales y cambios propuestos por sector		134
Bibliografía		136
Cuadros		Pg.
1RE	Lima-Callao: medidas de mitigación costo-efectivas y costo-neutrales identificadas.	15
2RE	Lima-Callao: ranking de las diez medidas más eficaces para reducir las emisiones de carbono por sector	17
3RE	Lima-Callao: medidas de mitigación relativas a la oferta y la demanda de agua	19
2.1	Lima-Callao: lista de medidas bajas en carbono	28
3.1	Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector de electricidad clasificadas por costo efectividad (en US\$ de 2014 y S/. de 2014 por tCO ₂ e)	42
3.2	Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector de electricidad clasificadas por su eficiencia para reducir las emisiones de carbono, 2015-2025 (en ktCO ₂)	43
3.3	Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector residencial clasificadas por costo efectividad (en US\$ de 2014 y S/. de 2014 por tCO ₂ e)	47
3.4	Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector residencial clasificadas por su eficiencia para reducir las emisiones de carbono, 2015-2030 (en ktCO ₂)	48
3.5	Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector comercial clasificadas por costo efectividad (en US\$ de 2014 y S/. de 2014 por tCO ₂ e)	52
3.6	Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector comercial clasificadas por su eficiencia para reducir las emisiones de carbono, 2015-2025 (en ktCO ₂)	53
3.7	Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector industrial clasificadas por costo efectividad (en US\$ de 2014 y S/. de 2014 por tCO ₂ e)	57
3.8	Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector industrial clasificadas por su eficiencia para reducir las emisiones de carbono, 2015-2030 (en ktCO ₂)	57
3.9	Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector de transporte clasificadas por costo efectividad (en US\$ de 2014 y S/. de 2014 por tCO ₂ e)	62
3.10	Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector de transporte clasificadas por su eficiencia para reducir las emisiones de carbono, 2015-2030 (en ktCO ₂)	63
3.11	Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector de residuos clasificadas por costo efectividad (en US\$ de 2014 y S/. de 2014 por tCO ₂ e)	67
3.12	Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector de residuos clasificadas por su eficiencia para reducir las emisiones de carbono, 2015-2030 (en ktCO ₂)	67
3.13	Lima-Callao: ahorros en agua por medida, 2015-2030 (en millones de m ³)	73
3.14	Lima-Callao: medidas correspondientes al sector del agua clasificadas por costo efectividad (en US\$ de 2014 y S/. de 2014 por m ³)	74
4.1	Lima-Callao: ranking de medidas según criterios de evaluación en materia de sostenibilidad	76
4.2	Lima-Callao: clústeres que obtuvieron el puntaje más alto en cada criterio de evaluación por sector	78
5.1	Lima-Callao: ranking de las diez medidas más atractivas en materia de reducción de gases de efecto invernadero clasificadas según costo efectividad (US\$/tCO ₂), eficiencia en la reducción de emisiones de carbono (tCO ₂ evitadas), evaluación multicriterio por sector	85
5.2	Lima-Callao: ranking de las dos medidas más atractivas por sector en materia de reducción de gases de efecto invernadero clasificadas según costo-efectividad (US\$/tCO ₂), eficiencia en la reducción de emisiones de carbono (tCO ₂ evitadas), evaluación multicriterio por sector.	86
5.3	Lima-Callao: ranking de las diez medidas más atractivas en materia de uso del agua clasificadas según eficiencia en el uso de agua (en millones de m ³ ahorrados), costo efectividad (en US\$/m ³) y evaluación multicriterio por sector	87

Gráficos

	Pg.		
1RE	Emisiones de Lima bajo cuatro escenarios entre el 2000 y 2030 indexados al 2014.	14	
2RE	Impactos de la inversión desde el lado de la demanda y de la oferta en el escenario pesimista (alta demanda, baja oferta)	18	
1.1	Perú: composición sectorial del inventario de gases de efecto invernadero, 2000 y 2009 (en porcentajes)	23	
3.1	Lima-Callao: consumo de energía indexado total, por unidad del PBI y per cápita, 2000-2030 (2014=100%)	31	
3.2	Lima-Callao: facturación de energía indexada total y precios de energía indexados, 2000-2030 (2014=100%)	32	
3.3	Lima-Callao: emisiones indexadas totales, por unidad de energía, por unidad del PBI y per cápita, 2000-2030 (2014=100%)	32	
3.4	Lima-Callao: uso de energía por fuente de energía, 2000-2030 (en millones de MWh)	33	
3.5	Lima-Callao: gasto en energía por sector, 2000-2030 (en millones de US\$)	33	
3.6	Lima-Callao: emisiones por uso final, 2000-2030 (en ktCO ₂ e)	34	
3.7	Lima-Callao: emisiones indexadas correspondientes a tres escenarios, 2000-2030 (2014=100%)	35	
3.8	Lima-Callao: Uso indexado de energía total, per cápita y por unidad de PIB, 2000-2030 (en millones de US\$)	35	
3.9	Lima-Callao: impactos de la inversión desde el lado de la demanda y de la oferta en el escenario pesimista (alta demanda y baja oferta), 2000-2030 (en litros per cápita por día)	37	
3.10	Lima-Callao: uso de electricidad por sector, 2000-2030 (en GWh)	39	
3.11	Lima-Callao: emisiones indexadas del sector de electricidad, 2000-2030 (2014=100%)	41	
3.12	Lima-Callao: intensidad de carbono de la electricidad proveniente del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, 2000-2030 (en tCO ₂ e/MWh)	41	
3.13	Lima-Callao: gasto, emisiones y uso de energía indexados del sector residencial, 2000-2030 (2014=100%)	46	
3.14	Lima-Callao: emisiones del sector residencial indexadas correspondientes a dos escenarios, 2000-2030 (2014=100%)	46	
3.15	Lima-Callao: gasto, emisiones y uso de energía indexados del sector comercial, 2000-2030 (2014=100%)	50	
3.16	Lima-Callao: emisiones indexadas del sector comercial correspondientes a dos escenarios, 2000-2030 (2014=100%)	51	
3.17	Lima-Callao: emisiones proyectadas del sector comercial correspondientes a dos escenarios, 2000-2030 (en ktCO ₂ e)	51	
3.18	Lima-Callao: gasto, emisiones y uso de energía indexados del sector industrial, 2000-2030 (2014=100%)	55	
3.19	Lima-Callao: emisiones indexadas del sector industrial correspondientes al escenario sin cambios y al escenario de medidas costo-efectivas, 2000-2030 (2014=100%)	56	
3.20	Lima-Callao: gasto total en combustible del sector de transporte, 2000-2030 (en millones de US\$)	59	
3.21	Lima-Callao: uso total de energía del sector de transporte, 2000-2030 (en millones de MWh)	60	
3.22	Lima-Callao: emisiones de CO ₂ e del sector de transporte según modo de transporte, 2000-2030 (en ktCO ₂ e)	60	
3.23	Lima-Callao: emisiones del sector de transporte correspondientes a tres escenarios, 2000-2030 (2014=100%)	61	
3.24	Lima-Callao: emisiones del sector de residuos, 2000-2030 (en ktCO ₂ e)	65	
3.25	Lima-Callao: emisiones del sector de residuos correspondientes a tres escenarios, 2000-2030 (2014=100%)	66	
3.26	Lima-Callao: contribución relativa de diferentes medidas correspondientes a la estrategia del lado de la oferta, 2014-2030 (en m ³ /s)	71	
3.27	Lima-Callao: contribución relativa de diferentes medidas correspondientes a la estrategia del lado de la demanda, 2014-2030 (en m ³ /s)	72	
5.1	Diagrama conceptual sobre el modo en que las diferentes formas de inversión pueden contribuir a la reducción de emisiones a lo largo del tiempo a nivel de una ciudad	82	
5.2	Necesidades de inversión por sector y posibles fuentes de inversión (en millones de US\$)	83	

Lista de siglas y acrónimos

APEC	Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico	SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
BAU	Escenario sin cambios (<i>business as usual</i>)	SEIN	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
BTR	Sistema de buses de tránsito rápido	UNALM	Universidad Nacional Agraria La Molina
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	VPN	Valor presente neto
CNCC	Comisión Nacional sobre Cambio Climático	Unidades de medida	
COES-SINAC	Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional	gCO_{2e}	Gramo de dióxido de carbono equivalente
EE	Eficiencia energética	GJ	Gigajulio
ENCC	Estrategia Nacional ante el Cambio Climático	ha	Hectárea
GEI	Gas de efecto invernadero	km	Kilómetro
GLP	Gas licuado de petróleo	km/h	Kilómetro por hora
GNC	Gas natural comprimido	km/l	Kilómetro por litro
GPC	Protocolo Global para la Medición Comunitaria de Emisiones (Global Protocol for Community Scale Emissions)	ktCO₂	Kilotonelada de dióxido de carbono
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático	ktCO_{2e}	Kilotonelada de dióxido de carbono equivalente
LED	Diodo que emite luz	kWh	Kilovatio
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio	kWh	Kilovatio-hora
MINAM	Ministerio del Ambiente del Perú	l	Litro
MINEM	Ministerio de Energía y Minas del Perú	m²	Metro cuadrado
NAMA	Acción nacional apropiada de mitigación, o medida de mitigación adecuada al país	m³	Metro cúbico
NAPA	Programa nacional de acción para la adaptación	m³/s	Metro cúbico por segundo
OCDE	Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos	mm	Milímetro
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería del Perú	Mt	Megatoneladas
PBI	Producto bruto interno	MtCO₂	Megatoneladas de dióxido de carbono
PlanCC	Planificación ante el Cambio Climático	MtCO_{2e}	Megatoneladas de dióxido de carbono equivalente
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo	MW	Megavatio
PUCP	Pontificia Universidad Católica del Perú	MWh	Megavatio-hora
REDD	Reducción de emisiones de la deforestación y la degradación de bosques	t	Tonelada
		tCO_{2e}	Tonelada de dióxido de carbono equivalente
		TJ	Terajulio
		TWh	Teravatio-hora
		W	Vatio

Prefacio

En estos momentos, todos los países del mundo se encuentran evaluando como mitigar los gases de efecto invernadero tanto desde medidas nacionales o domésticas, cómo mostrando su voluntad de hacerlo en el marco de un acuerdo global, de forma que el cambio climático no afecte a futuro la economía mundial y el desarrollo, la seguridad alimentaria y los

ecosistemas. El objetivo tendría que ser un mundo carbono neutral para el 2050, si honramos la decisión mundial de que la elevación de la temperatura mundial no exceda los 2°C.

El Perú, forma parte de este proceso y ha definido metas, ha planificado, ha planteado acciones y viene ejecutando las mismas, a fin que queden sentadas las bases para un desarrollo sostenible bajo en carbono, adaptando al país a los efectos adversos y a las oportunidades que impone el cambio climático.

La propuesta preliminar para el acuerdo mundial, que deberá adoptarse en Lima a fines de año según el mandato de la región y la comunidad internacional, depende de que todos los países y ciudades del mundo, pongan de su parte y asuman su responsabilidad en el marco de sus capacidades. Más que nunca, la presión para una solución definitiva vendrá de abajo hacia

arriba, con un enfoque diferente al que generó el Protocolo de Kyoto. Para ello, la legislación nacional, y en especial los esfuerzos y planes para las ciudades, son clave y deben contemplar con claridad los beneficios que se pueden lograr, y los riesgos que se pueden evitar.

El Gobierno del Perú ha constituido la Comisión Multisectorial encargada de elaborar el “Plan Perú-Compromiso Climático”, el que no sólo expresará y confirmará la voluntad política de Perú este año 2014, denominado “Año de Promoción de la Industria Responsable y del Compromiso Climático”, sino que además deberá contener marcos estratégicos, y medidas

concretas y costo-efectivas que generen efectos ambientales y sociales positivos, consoliden acciones sectoriales, y promuevan la articulación multisectorial, privilegiando la inversión pública y privada en bienes y servicios favorables al sistema climático. En este sentido, confiamos en que, trabajando con todos los sectores y actores de la sociedad nacional se

identificarán y asumirán compromisos específicos para conducirnos hacia un crecimiento bajo en carbono, sostenible, sustentado en tecnologías limpias, inclusivo y basado en el reconocimiento de la base fundamental para nuestro desarrollo, el stock de recursos naturales.

Confiamos a su vez que se seguirán generando compromisos individuales y colectivos que

incrementen el impacto ya logrado en el marco de la campaña “Pon de tu parte” lanzada con la

Municipalidad Metropolitana de Lima.

El concepto y propuesta de ciudades sostenibles es uno de los temas emblemáticos que el Perú tiene en la agenda interna sobre cambio climático, que será objeto de un tratamiento y desarrollo especial durante la realización de la COP20/CMP10, junto con otros temas emblemáticos del país como son los bosques, las montañas y el agua, el océano, y la energía.

En este marco, el estudio que se presenta en este documento constituye un aporte inicial importante, tanto técnico como académico, para la una discusión más amplia sobre la economía de las ciudades y su rol frente al cambio climático, discusión que debe involucrar a todas las autoridades nacionales, gobiernos locales, el sector privado y la sociedad civil en general, incluyendo a las familias y actores individuales.

En especial, se aprecia el interés del estudio en señalar la relevancia de promover las inversiones más rentables para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, y el potencial del futuro financiamiento, que debe estructurarse alrededor de los objetivos climáticos del Gobierno Peruano con sus propios recursos y con los de la cooperación internacional en el marco del Fondo Verde para el Clima y otros mecanismos disponibles.

Saludamos el compromiso y el interés en desarrollar este documento tanto por los autores como por los promotores, la Universidad de Leeds, del Reino Unido, la Pontificia Universidad Católica del Perú y la Universidad Nacional Agraria de La Molina, así como la participación de la Municipalidad de Lima, en este encomiable esfuerzo de concertación y coordinación, con la facilitación de la Embajada del Reino Unido en el Perú.

Desde el Ministerio del Ambiente, como ente colaborador y co-facilitador en esta iniciativa,

proponemos se continúe con los estudios y el afinamiento de metodologías y enfoques que puedan orientar las políticas y urgentes acciones para una senda de sostenibilidad ambiental y de resiliencia de nuestras ciudades frente al cambio climático.

Manuel Pulgar-Vidal

Ministro del Ambiente del Perú

Prefacio

El cambio climático es el gran desafío de nuestra época. Sus repercusiones actuales y futuras en la economía, la sociedad y el ambiente representan un enorme reto para redefinir el sentido del desarrollo y diseñar, articular y poner en marcha políticas públicas que permitan enfrentar sus impactos.

Las ciudades tienen un rol fundamental a jugar en ello, no solo porque concentran la gran mayoría de actividades que generan los gases de efecto invernadero, sino porque, como centros del poder económico y político, pueden ejercer el liderazgo que se requiere para enfrentar el desafío del clima.

Por ello, me complace presentar este informe que analiza, desde una perspectiva económica, las

medidas más eficientes en cuanto al manejo del carbono y del agua, que podrían ser adoptadas en los sectores de energía, vivienda, comercio, transporte, industria, residuos y agua de Lima y Callao.

Esta investigación revela que hay muchas oportunidades económicamente atractivas para que

Lima se oriente hacia un camino de desarrollo bajo en carbono y resiliente al clima que sea más eficiente en términos de energía y agua. Estas inversiones podrían ser equivalentes al 8% del PBI de Lima en 2014, y podrían tener no solo importantes repercusiones económicas, sino una gama más amplia de beneficios sociales y ambientales.

La Municipalidad de Lima ha abordado la problemática del cambio climático un enfoque

transversal en las políticas municipales desde el inicio de esta gestión. En Adaptación, estamos promoviendo una serie de iniciativas para la gestión de riesgos en zonas vulnerables, la recuperación del río Rímac, la ampliación del verde urbano y la conservación de la infraestructura ecológica, con la finalidad de armonizar los asentamientos de la población con el

manejo de los ecosistemas urbanos y, de esta forma, incentivar el desarrollo de comunidades resilientes.

En Mitigación, la agenda de Lima contempla como prioridad la reforma del transporte, esperada hace más de 30 años, que está permitiendo la promoción de un transporte público masivo ordenado, eficiente y limpio, la reorganización de las rutas, la renovación de la flota vehicular, el uso de combustibles limpios y la planificación de un sistema integrado que conecta toda la ciudad.

Este informe nos confirma que estamos en la dirección correcta y que se requiere continuar con

las acciones emprendidas. La Cumbre Mundial del Clima -COP 20- de la cual Lima será la ciudad anfitriona, se convierte en una oportunidad extraordinaria para reforzar y articular el accionar de todos los sectores y todos los actores, con una visión de futuro.

Municipalidad Metropolitana de Lima

Prefacio

Nos complace mostrar el resultado de un esfuerzo conjunto: un estudio producido por la Pontificia Universidad Católica del Perú y la Universidad Agraria La Molina por el lado peruano, y por la Universidad de Leeds que forma parte de un consorcio de universidades británicas, Centro por un Futuro Bajo en Emisiones de Carbono, por el Reino Unido.

Este primer esfuerzo de análisis ha implicado una importante transferencia de conocimientos y, sobre todo, colaboración entre los especialistas encargados de la tarea. Quiero felicitar a los responsables del documento que aquí se presenta por la paciencia y dedicación desplegada, así como por haberlo tenido listo en un momento muy oportuno, con miras a la Conferencia ONU sobre Cambio Climático - COP20, a realizarse en Lima en diciembre de este año.

La relevancia de la información contenida en este estudio ha ganado el sobrenombre de un “estudio mini-Stern para Lima” (en referencia al decisivo trabajo de 2007 publicado en el Reino Unido por Lord Nicholas Stern respecto al cambio climático, quien prepara una segunda publicación para septiembre). Destacan, entre muchos otros datos, haber reunido la evidencia que demuestra cómo el producto bruto interno de Lima y Callao aumentaría un 8% con las inversiones costo-efectivas identificadas por el estudio, a la vez que se disminuiría en un 19%

las emisiones de gases hacia 2030. Los cálculos estiman que una inversión de US\$ 5.000 millones (sin considerar el metro) generaría medidas efectivas económicamente que se pagarían en menos de tres años. No cabe duda: la evidencia cuantitativa, la investigación y creación de conocimiento son indispensables para un futuro bajo en carbono y de alto crecimiento y desarrollo económico para áreas metropolitanas como las de Lima y Callao.

Esperamos que este estudio pueda estimular al menos dos procesos importantes:

- Un amplio debate constructivo, que institucionalice la actividad de investigación periódica sobre el tema con la PUCP y la UNALM, en coordinación con la Municipalidad de Lima y el Ministerio del Ambiente.
- La elaboración de un plan de implementación y estudios de factibilidad para hacer realidad

las inversiones identificadas, en especial en lo concerniente a las inversiones en transporte y a un proyecto piloto de urbanización carbono neutral.

Este año, Lima será el foco de atracción mundial por ser anfitriona de la COP20. A pocos meses de tan importante Conferencia, esta información adquiere una mayor relevancia para atraer inversiones y alimentar otros estudios en proceso de culminación, como el Plan sobre Cambio Climático (Plan CC). Más aún, los debates internacionales en Lima traen una novedad muy importante: con el objetivo de hacer más ambiciosa la reducción de emisiones a nivel mundial antes de 2020, se ha incluido por primera vez en la agenda el intercambio de experiencias de algunas ciudades en el mundo que han logrado controlar sus emisiones y adaptarse a los impactos del cambio climático con aquellas que han identificado oportunidades para evitar o reducir emisiones y adaptarse a los impactos del cambio climático. Este informe adelanta recomendaciones sustanciales en ese sentido.

Esperamos que Lima aproveche las recomendaciones para avanzar en su ambición de ser una ciudad baja en carbono, de alto crecimiento económico y que ofrece una alta calidad de vida a sus habitantes.

Embajada Británica en Lima

Prefacio

La discusión de cambio climático ha pasado de ser de que si existe o no a una discusión de qué tan fuertes e intensos serán los impactos del cambio climático. En este caso, el papel de las ciudades es fundamental para responder a estas preguntas, al dar cabida a más de la mitad de la población mundial y ser responsables de más del 70% de la energía consumida y de las emisiones asociadas de gases de efecto invernadero. Históricamente, el crecimiento económico de las ciudades conllevó una demanda progresiva de recursos naturales y, en muchas veces, una expansión no planificada del espacio urbano. Lima-Callao, de lejos la mayor aglomeración urbana y motor económico del Perú, ha seguido este camino de crecimiento intensivo en recursos durante los últimos años. Al ser construida en una zona muy árida a lo largo de la costa, es probable que en el futuro Lima-Callao sufra de sequías e inundaciones causadas por el cambio climático. En este informe se presentan opciones que permitan a Lima-Callao que cambie hacia una senda baja en emisiones y resiliente a los cambios climáticos, por medio de acciones económicamente eficaces.

El informe se centra en el análisis de seis sectores para la mitigación de emisiones en Lima-Callao: el sector eléctrico, de construcciones residenciales y comerciales, industrial, de transporte y de residuos. Además estudia la posibilidad de minimizar un futuro estrés hídrico de forma rentable mediante el análisis de un conjunto de proyectos y políticas de oferta y demanda de agua. Al clasificar las diferentes medidas sectoriales según su rentabilidad y su potencial de

reducción de emisiones, el informe demuestra los beneficios económicos de las inversiones bajas en carbono y resilientes al clima. Reconociendo que las

decisiones de inversión no son tomadas únicamente en función del valor económico, el análisis multicriterio del informe presenta un valor adicional importante.

La economía de las ciudades bajas en carbono y resistentes al clima: Lima-Callao, Perú hace una contribución significativa al proporcionar argumentos inmediatamente disponibles y confiables para inversiones sostenibles. El menú de las opciones más adecuadas, así como el plan de inversiones y financiamiento, constituyen una valiosa orientación para los tomadores de decisiones de todos los entes, tanto a nivel nacional como local. Además, se presenta un análisis sobre la viabilidad comercial de las medidas, la necesidad de inversiones impulsadas públicamente, como también un documento de respaldo para solicitar financiamiento, incluyendo financiamiento de cambio climático a nivel internacional.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) valora la contribución realizada por el informe, ya que se alinea con la agenda del Banco - una meta de dedicar el 25% del financiamiento a las actividades relacionadas al cambio climático en 2015-. El BID está listo a apoyar el financiamiento de un futuro resiliente y bajo en carbono, por medio del apoyo a inversiones sostenibles como las presentadas en este informe.

Fidel Jaramillo

Representante en el Perú,
Banco Interamericano de Desarrollo

Introducción

¿Cuál es la mejor manera para Lima-Callao de orientarse hacia una senda de desarrollo resiliente y bajo en carbono, que sea más eficiente desde la perspectiva del uso del agua y de la energía? Incluso cuando existe un interés muy amplio en este tipo de transición, hay obstáculos de importancia que pueden bloquear la acción en el marco de una agenda tan extensa. La ausencia de una evidencia de base localmente apropiada y fidedigna hace que la toma de decisiones sea particularmente difícil para las personas encargadas de ello, y que invertir sea igualmente difícil para los inversionistas.

Este estudio busca proporcionar ese tipo de evidencia para Lima-Callao y usarla para examinar si existe un caso económico que pueda ser utilizado para asegurar inversiones en un desarrollo urbano eficiente en agua y energía, bajo en carbono y resiliente al clima. El objetivo más específico es brindar listas priorizadas de las medidas más eficientes en términos de costo en cuanto al carbono/agua, que serían adecuadas para ser adoptadas en los sectores de energía, vivienda, comercio, transporte, industria, residuos y agua para la ciudad.

La facturación total de energía correspondiente a Lima-Callao en 2014 fue de US\$ 4.700 millones, y la facturación de residuos y agua fue de US\$ 500 millones. Esto significa que un 8% del ingreso total obtenido en Lima-Callao se gasta en energía, agua y residuos.

Nuestro enfoque

Empezamos el análisis recolectando información acerca de los niveles y la composición del uso de la energía y el agua en Lima-Callao. Realizamos esto para un conjunto de sectores diferentes, incluidos los sectores de electricidad y agua –del lado de la oferta– y los sectores de vivienda, comercio, transporte e industria –del lado de la demanda–. También evaluamos el sector de los residuos, ya que este tiene la capacidad de producir emisiones de gases de efecto invernadero y, a su vez, cuenta con el potencial de generar energía.

Para cada uno de estos sectores y para la ciudad en su conjunto, examinamos la influencia de tendencias recientes, como el crecimiento económico y demográfico, el comportamiento del consumidor, y la eficiencia en el uso del agua y la energía, y desarrollamos un escenario sin cambios hasta el año 2030. Esta hipótesis nos permite predecir formas y niveles futuros de la oferta y la demanda de energía y agua, así como prever la facturación futura de energía y agua y las emisiones de carbono. Tomando en cuenta diferentes escenarios de impacto climático, proyectamos tendencias para el agua en un escenario (optimista) de alta oferta y baja demanda, y un escenario (pesimista) de baja oferta y alta demanda.

Nos basamos en una extensa revisión de la literatura, así como en entrevistas y consultas realizadas a actores y grupos interesados. Recopilamos y elaboramos

listas de muchas de las medidas orientadas a lograr la eficiencia en el uso del agua y la energía que podrían ser aplicadas en cada uno de los distintos sectores de la ciudad. Evaluamos en forma realista el desempeño de cada medida, de sus costos y de los ahorros que probablemente se alcanzarían durante su ciclo de desarrollo, y consideramos su ámbito de aplicación en Lima-Callao hasta el año 2030. Estas evaluaciones fueron revisadas de manera participativa en talleres en las que se contó con la participación de expertos para asegurar que dichas acciones sean lo más realistas posible, y para considerar cuáles son los factores clave que contribuyen a su potencial de implementación.

Luego extrajimos en conjunto los resultados derivados de nuestra evaluación y de la revisión de los expertos a fin de determinar el impacto potencial de medidas combinadas implementadas en diferentes sectores de la ciudad considerada como un todo. Esto nos permitió comprender la escala de la oportunidad de desarrollo, las necesidades de inversión y de amortización asociadas, y los impactos en la oferta y la demanda de energía y agua, así como en la facturación de energía y agua, y en las emisiones de carbono en los diferentes sectores de la ciudad. La recolección de esta información también nos permitió generar cuadros de clasificación de las medidas más rentables económicamente, y más eficientes en cuanto a la reducción de las emisiones de carbono y al uso del agua, que podrían ser adoptadas tanto en cada sector como en toda la ciudad.

El caso de la inversión en eficiencia energética y en un desarrollo bajo en carbono

Hemos estimado que el producto bruto interno (PBI) de Lima-Callao fue de US\$ 66.000 millones en 2014, y si las tendencias recientes continúan, proyectamos que el PBI crecerá a US\$ 136.000 millones en 2030. También constatamos que la facturación total de energía correspondiente a Lima-Callao en 2014 fue de US\$ 4.700 millones, y la facturación de residuos y agua fue de US\$ 500.000.000. Esto significa que el 8% de todo el ingreso obtenido en Lima-Callao se gasta en energía, agua y residuos (sin incluir los actuales subsidios).

Nuestras proyecciones señalan que la continuación de la tendencia de las actividades económicas habituales (escenario sin cambios) hasta 2030 implicaría un alza del consumo de energía del 78% en el período comprendido de 2014 a 2030, y proyectamos que la facturación total de energía pasará de US\$ 4.700 millones a US\$ 10.700 millones en 2030. También estimamos que, en un escenario sin cambios, las emisiones de carbono de Lima-Callao aumentarán en un 82% en el período 2014-2030.

Después de haber examinado los potenciales costos y beneficios del amplio rango de medidas de eficiencia energética y bajas en carbono que podrían ser implementadas en diferentes sectores de la ciudad, hemos encontrado que –en comparación con las tendencias del escenario sin cambios– en Lima-Callao podrían alcanzarse los siguientes niveles de reducción de sus emisiones de carbono en el año 2030:

- Un 19%, a través de inversiones costo-efectivasⁱ que se pagarían comercialmente con creces a lo largo de su ciclo de vida. Esto requiere una inversión de US\$ 5.100 millones, que en 2030 generaría ahorros en facturación de energía de US\$ 2.100 millones (a precios de 2014), lo que significa que las inversiones en estas medidas económicamente efectivas se pagarían en 2,4 años y, a su vez, generarían ahorros anuales durante todo su ciclo de vida.
- Un 30%, a través de inversiones costo-neutralesⁱⁱ cuyo costo se cubriría a lo largo de su ciclo de vida. Esto requiere una inversión de US\$ 12.200 millones, que en 2030 generaría ahorros en las facturas de energía de US\$ 2.700 millones (a precios de 2014), lo que significa que las

inversiones en estas medidas costo-efectivas se pagarían en 4,5 años y, a su vez, generarían ahorros anuales durante todo su ciclo de vida.

Consideramos que el sector de transporte contiene un 38% del potencial total de las inversiones bajas en carbono y costo-efectivas. El resto del potencial se encuentra en la industria (24%), en el sector residencial (16%), en el sector comercial (12%), en el sector de residuos (8%) y en el sector de suministro eléctrico (2%).

Aunque los impactos de las medidas costo-efectivas y costo-neutrales reducirán las emisiones totales respecto de las tendencias del escenario sin cambios, no se detendrá el alza total de emisiones en términos absolutos. En caso de implementarse todas las medidas costo-efectivas, en 2030 las emisiones se incrementarían en un 38% respecto de los niveles de 2014, y en caso de aplicarse las medidas económicamente neutras, dichas emisiones aumentarían un 20% respecto de los niveles de 2014. La inversión en las medidas costo-efectivas significará un ahorro anual de US\$ 2.100 millones en el sector de energía, reduciéndose así la facturación de energía en 2030 del 7,9% al 6,4% del PBI, mientras que la inversión en las medidas costo-neutrales representará un ahorro de US\$ 2.700 millones en el sector energético cada año, reduciéndose así la facturación de energía en 2030 del 7,9% al 5,9% del PBI.

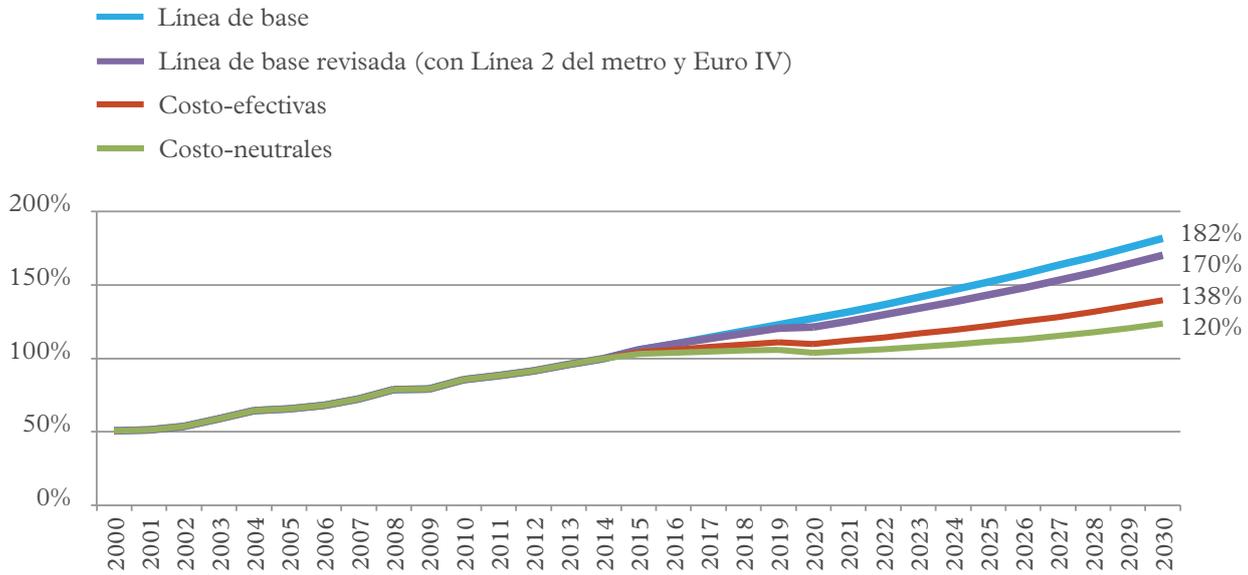
En el escenario sin cambios hasta 2030 la facturación total de energía se incrementará de US\$ 4.700 millones a US\$ 10.700 millones, y las emisiones de carbono se incrementarán un 82%.

ⁱ Las inversiones son costo-efectivas, o costo efectivas, cuando los costos de compra, instalación y operación de una opción más eficiente en cuanto al consumo de energía o más baja en carbono son superados por el valor de los ahorros en energía que la medida genera durante su tiempo de vida.

ⁱⁱ Las inversiones son costo-neutrales, o económicamente neutras, cuando los costos de compra, instalación y operación de una opción más eficiente en cuanto al consumo de energía o más baja en carbono no son superados por el valor de los ahorros en energía que la medida genera durante su tiempo de vida, pero los costos adicionales pueden ser cubiertos mediante otras medidas costo-efectivas. En términos económicos, esto significa que se puede adoptar una combinación de medidas costo-efectivas y no efectivas a un costo neto cero a lo largo del ciclo de vida de las medidas.

Gráfica 1-Resumen ejecutivo:

Emisiones de Lima bajo cuatro escenarios entre el 2000 y 2030 indexados al 2014.



Cuadro 1-Resumen ejecutivo

Lima-Callao: medidas de mitigación costo-efectivas y costo-neutrales identificadas.

Sector	Medidas costo-efectivas
Transporte	<ul style="list-style-type: none">- Campaña de teletrabajo.- Conversión de taxis a gasolina a gas natural comprimido.- Reemplazo de combis por ómnibus.- Chatarreo de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por automóviles a gasolina.- Conversión de automóviles a gas natural comprimido.- Desarrollo de ciclovías.- Sistema de buses de tránsito rápido.- Peaje de cordón para automóviles particulares a gasolina y a diésel.
Residuos	<ul style="list-style-type: none">- Captura de gas del relleno sanitario Portillo Grande para generación de energía.
Industrial	<ul style="list-style-type: none">- Infraestructura avanzada de medición en el sector industrial (implementación en un 75%).- Programa de reducción de carbono en el sector de refinería de petróleo.- Cambio de calderas que pasan a utilizar gas natural.- Conservación de electricidad en otros sectores industriales.- Programa de reducción de carbono en la industria del etileno.- Programa de reducción de carbono en la industria siderúrgica.- Programa de reducción de carbono en la industria del cemento.
Comercial	<ul style="list-style-type: none">- Estándares de construcción verde para edificios comerciales.- Reconversión térmica (gas natural, gas licuado de petróleo, diésel, gasolina) en edificios.- Programa de reconversión de electricidad en el sector comercial.- Programa de reconversión de electricidad en el sector público.- Alumbrado público: conversión a LED.- Programas de reconversión de electricidad en centros comerciales.- Energía solar fotovoltaica en el sector comercial (con tarifas de alimentación garantizadas).- Programa de reconversión de electricidad en hospitales.- Semáforos: conversión a LED.- Agua caliente proveniente de termas solares en el sector comercial.- Infraestructura avanzada de medición en el sector comercial (implementación en un 75%).

Sector	Medidas costo-neutrales
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> - Inversiones en gestión del tráfico. - Esquema híbrido: subsidio de US\$ 2.000 para el 10% de los automóviles nuevos. - Reemplazo de taxis a diésel por gas natural comprimido.
Residuos	<ul style="list-style-type: none"> - Compostaje de residuos en cuba cerrada (100.000 t por año). - Quema de gas del relleno sanitario de Zapallal. - Planta de reciclaje: 261 kt de papel, madera y residuos industriales. - Incineración de lodo de la planta de aguas residuales de Taboada para producir energía.
Residencial	<ul style="list-style-type: none"> - Fotovoltaicos solares: meta de 10 MW por año (escenario sin cambios). - Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE1) (excluido el refrigerador). - Aires acondicionados de alta eficiencia (EE1). - Aparatos de entretenimiento de alta eficiencia (EE1). - Lavadoras de alta eficiencia (EE1). - Techos verdes en edificios de departamentos residenciales (10% de nuevas construcciones). Techos verdes en casas pareadas (10% de nuevas construcciones).
Electricidad	<ul style="list-style-type: none"> - Carbón reemplazado por energía solar fotovoltaica (200 MW en 2030). - Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del gas natural (~3.500 MW en 2030). - Reconversión de gas natural (1.000 MW en 2030). - Reconversión de carbón (~80 MW en 2030).

Fuente: Elaboración propia.

**Lima-Callao
podría invertir US\$ 5.100
millones en medidas bajas en
carbono costo-efectivas que
generarían ahorros anuales
en la facturación de energía
de US\$ 2.100 millones, lo cual
significa que las inversiones se
pagarían en 2,4 años.**

Cuadro 2-Resumen ejecutivo

Lima-Callao: ranking de las diez medidas más eficaces para reducir las emisiones de carbono por sector

Sector	Medidas más eficaces
Comercial	1. Agua caliente proveniente de termas solares en el sector comercial; 2. Reconversión térmica en edificios (gas natural, gas licuado de petróleo, diésel, gasolina); 3. Estándares de construcción verde para edificios comerciales; 4. Infraestructura avanzada de medición en el sector comercial (implementación en un 75%); 5. Programa de reconversión de electricidad en el sector comercial; 6. Programa de reconversión de electricidad en centros comerciales; 7. Semáforos: conversión a LED; 8. Programa de reconversión de electricidad en el sector público; 9. Energía solar fotovoltaica en el sector comercial (con tarifas de alimentación garantizadas); 10. Programa de reconversión de electricidad en hospitales.
Transporte	1. Tributo de congestión para automóviles particulares a gasolina y a diésel; 2. Reemplazo de combis por ómnibus; 3. Esquema híbrido: subsidio de US\$ 2.000 para el 10% de los automóviles nuevos; 4. Campaña de teletrabajo; 5. Sistema de buses de tránsito rápido; 6. Conversión de taxis a gasolina a gas natural comprimido; 7. Chatarreo de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por híbridos; 8. Conversión de automóviles a gas natural comprimido; 9. Chatarreo de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por automóviles a gasolina; 10. Conversión de automóviles a gas natural comprimido.
Residuos	1. Captura de gas del relleno sanitario Portillo Grande para generación de energía; 2. Incineración de lodo de la planta de aguas residuales de Taboada para producir energía; 3. Uso de residuos para generación de energía eléctrica (1.000 t por día); 4. Compostaje de residuos en cuba cerrada (100.000 t por año); 5. Compostaje de residuos en hileras (100.000 t por año); 6. Planta de reciclaje: 261 kt de papel, madera y residuos industriales; 7. Quema de gas del relleno sanitario de Zapallal.
Industria	1. Conservación de electricidad en otros sectores industriales; 2. Cambio de calderas que pasan a utilizar gas natural; 3. Infraestructura avanzada de medición en el sector industrial (implementación en un 75%); 4. Programa de reducción de carbono en la industria del etileno; 5. Programa de reducción de carbono en la industria del cemento; 6. Programa de reducción de carbono en el sector de refinación de petróleo; 7. Programa de reducción de carbono en la industria siderúrgica.
Residencial	1. Eliminación de luces incandescentes y 50% de iluminación basada en LED en 2020; 2. Eliminación de luces incandescentes; 3. Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE1) (excluido el refrigerador); 4. Refrigeradores de alta eficiencia (EE1); 5. Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE2) (excluido el refrigerador); 6. Refrigeradores de alta eficiencia (EE2); 7. Energía solar fotovoltaica: meta de 20 MW por año (escenario sin cambios); 8. Un 10% Agua caliente proveniente de termas solares en 2030 (escenario sin cambios); 9. Aires acondicionados de alta eficiencia (EE1); 10. Aires acondicionados de alta eficiencia (EE2).
Eléctrico	1. 2.000 MW de energía geotérmica (reemplaza al gas natural); 2. 1.000 MW de energía geotérmica (reemplaza al gas natural); 3. Carbón reemplazado por energía eólica (200MW en 2030); 4. Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del gas natural (~3.500 MW en 2030); 5. Carbón reemplazado por energía solar fotovoltaica (200 MW en 2030); 6. Gas reemplazado por energía eólica (200 MW en 2030); 7. Gas reemplazado por energía solar fotovoltaica (200 MW en 2030); 8. Diésel reemplazado por energía solar fotovoltaica (~160 MW en 2030); 9. Diésel reemplazado por energía eólica (~130 MW en 2030); 10. Retroadaptación del gas natural (1.000 MW en 2030).

Fuente: Elaboración propia.

El caso de la inversión en un desarrollo resiliente al clima y eficiente en el uso del agua

El cambio climático conlleva importantes incertidumbres y riesgos para la oferta y la demanda de agua en Lima-Callao. Dadas estas incertidumbres, parece prudente esperar el mejor escenario y, al mismo tiempo, prepararse para el peor. Pronosticamos que el peor escenario para Lima-Callao –que implica un incremento del 21% de la demanda de agua, asociado a una baja del 7% de las precipitaciones en los ríos que alimentan a Lima-Callao como resultado del cambio climático– sería un déficit de agua del 29% en el año 2030.

Para considerar las posibles respuestas, evaluamos el potencial de las medidas, tanto del lado de la oferta como del lado de la demanda, para enfrentar el déficit de agua del 29% que podría ocurrir en caso de concretarse el peor escenario.

— **La estrategia del lado de la oferta.** Si se contemplan las opciones de costo más bajas, entonces estimamos que el potencial del déficit de agua podría ser evitado a través de una inversión de US\$ 856.000.000 en medidas relativas a la oferta. Esta inversión, que incrementaría los costos, no generaría ahorros netos y tendría un plazo de recuperación de 10,8 años. Podría ser financiada enteramente mediante un aumento

del 18% de la tarifa de agua de los usuarios residenciales, comerciales e industriales.

— **La estrategia del lado de la demanda.** Si priorizamos las medidas del lado de la demanda para reducir los impactos ambientales y sociales más amplios del aumento del suministro, consideramos que el déficit potencial de agua podría ser evitado a través de una inversión de US\$ 2.000 millones, de los cuales un 95% podría ser invertido en reducir la demanda de agua, y un 5% podría ser destinado a aumentar la oferta de agua. Esta inversión, que incrementaría los costos pero que también generaría ahorros por medio de una menor facturación de agua, tendría un plazo de recuperación de 7,4 años. Podría ser financiada a través de un aumento del 15% de la tarifa de agua para usuarios residenciales, comerciales e industriales, y por medio de los ahorros que conllevaría la medida.

Cabe destacar que, a más largo plazo, los impactos del cambio climático supondrán un aumento de la demanda de agua en Lima-Callao, y entonces es probable que deban adoptarse tanto la estrategia de la oferta como la correspondiente a la demanda.

Gráfica 2-Resumen ejecutivo:
Impactos de la inversión desde el lado de la demanda y de la oferta en el escenario pesimista (alta demanda, baja oferta)



Respecto del agua, el peor escenario para Lima-Callao –que comprende un crecimiento del 21% de la demanda de agua y una caída del 7% de las precipitaciones en los ríos que alimentan a Lima-Callao como resultado del cambio climático– implica un déficit de agua del 29% en 2030.

El déficit de agua en 2030 podría resolverse a través de una inversión de US\$ 2.000 millones, 95% de los cuales podrían invertirse en reducir la demanda, y un 5% podría destinarse a incrementar la oferta. El período de pago de la inversión sería de 7,4 años.

Cuadro 3-Resumen ejecutivo

Lima-Callao: medidas de mitigación relativas a la oferta y la demanda de agua

Medidas de oferta y demanda para atender el potencial déficit de agua en el 2030

Un 18% de incremento de las tarifas de agua del sector comercial; Un 15% de incremento en el precio de las tarifas residenciales; Reservorio del río Chillón; Represa de Casacancha junto con Marca III; Reservorio de Autisha; Pomacocha-Río Blanco.

Del lado de la demanda

Un 15% de incremento de las tarifas de agua del sector comercial; Un 100% de medición de las unidades con servicio en 2020; Un 15% de incremento del precio de las tarifas residenciales; Edificios comerciales verdes (25% de nuevas construcciones de 2015 a 2030); Duchas de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares); Edificios residenciales verdes (25% de nuevas construcciones en el período 2015-2030); Reconversión de aguas grises comerciales (25.000 oficinas en 2030); Inodoros de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares); Reconversión de la red primaria; Caños para cocinas de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares); Reservorio del río Chillón (suministro); Reconversión de aguas grises residenciales (50.000 hogares en 2030); Inodoros de aguas grises para hogares (100.000 en 2030); Caños para baño de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares); Un 15% de incremento de las tarifas de agua del sector industrial; Programa de educación para la conservación del agua; Lavadoras de alta eficiencia (implementación en un 25% en todos los hogares); Lavaplatos de alta eficiencia (implementación en un 25% en todos los hogares).

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones y Recomendaciones

Esta investigación revela, por lo tanto, que hay muchas oportunidades económicamente atractivas para que Lima-Callao se oriente hacia un camino de desarrollo bajo en carbono y resiliente al clima que sea más eficiente en términos de energía y agua. Estimamos que estas inversiones podrían generar beneficios económicos más amplios equivalentes al 8% del PBI de Lima-Callao en 2014 (US\$ 10.200 millones) en el caso de las medidas costo-efectivas, o al 16% en el caso de las medidas costo-neutrales (US\$ 22.200 millones). Sin embargo, cabe destacar que, en la práctica, estas inversiones se extenderán hasta el año 2030 y que el impacto económico no estaría restringido a Lima-Callao. También cabe señalar que aprovechar estas oportunidades podría suponer una gama más amplia de beneficios sociales, económicos y ambientales.

No obstante, la presencia de estas oportunidades no significa que estas necesariamente se implementen. Al proporcionar evidencia acerca de la escala y la composición de estas oportunidades, esperamos que este reporte contribuya a la construcción de

compromiso político y de capacidades institucionales para el cambio. También esperamos que este informe sea de utilidad para Lima-Callao en lo que respecta a asegurar las inversiones y a desarrollar las capacidades necesarias para implementar el cambio. Algunas de las oportunidades relativas al manejo de la energía y del agua podrían ser comercialmente atractivas, mientras que otras pueden ser accesibles solo a través de la inversión pública o por medio del apoyo de la cooperación internacional. El despliegue de muchas de las acciones consideradas podría ser promovido mediante la implementación de políticas adecuadas llevadas adelante por el gobierno.

No obstante, también cabe destacar que la economía no es la única disciplina que tiene algo interesante que aportar en la transición de Lima-Callao hacia ciudades bajas en carbono y resilientes al clima. En un análisis más amplio también debería considerarse la conveniencia social de las diferentes opciones, así como temas ligados con la equidad, con la inclusión y con una sostenibilidad más amplia de las diferentes vías de desarrollo que podrían emprenderse.

Capítulo 1.

Introducción, contexto, fines y objetivos

Las ciudades y el cambio climático

La influencia y el impacto de las ciudades no pueden subestimarse. Más de la mitad de la población mundial vive en ciudades, y el 70% de la producción y del consumo corresponden a las ciudades (United Nations University-Institute for the Advanced Study of Sustainability, 2013). En las ciudades se sitúan muchas de las instituciones del mundo y gran parte de su infraestructura, y en ellas surgen, se experimentan y se resuelven gran parte de los desafíos sociales, económicos y ambientales más importantes del mundo. Las ciudades también son los lugares en que se desarrolla la mayor parte de las políticas y los planes internacionales y nacionales. La acción global se basa frecuentemente en la acción urbana: nuestro futuro común depende en gran medida de la manera en que nos desarrollamos, organizamos, vivimos y trabajamos en las ciudades.

Las cuestiones relativas a la energía y al agua son centrales en el desarrollo futuro de las ciudades. Actualmente, las actividades que se desarrollan en las ciudades consumen alrededor del 70% de la energía total, y representan alrededor del 70% de todas las emisiones de carbono (International Energy Agency, 2009). Según algunas estimaciones, alrededor del 10% del ingreso total generado en las ciudades se gasta en energía. Aunque en las ciudades se consume directamente solo el 11% del suministro de agua mundial, sus huellas de agua son sumamente importantes, y se espera que se incrementen a un ritmo más acelerado que el correspondiente a los promedios nacionales debido a sus crecientes niveles de población, ingreso y consumo (Hoff et al., 2014). Esto implica que las ciudades impondrán grandes presiones sobre las reservas de agua, no solo sobre aquellas situadas en sus entornos inmediatos, sino también sobre las fuentes de agua más alejadas. El acceso a la energía y al agua, obviamente, es crucial para el bienestar y el desarrollo humano. No obstante, muchas ciudades enfrentan el desafío de orientarse hacia vías de desarrollo bajas en carbono y resilientes al clima, que conlleven un acceso sostenible y económico a la energía y el agua.

Aunque estos desafíos son muy significativos, gracias a las capacidades institucionales y al dinamismo socioeconómico de muchas ciudades, estas pueden situarse en una buena posición para responder a dichos desafíos. Esto es particularmente cierto en el caso de las economías emergentes de rápido crecimiento, en que la inversión masiva en

infraestructura provee una oportunidad para cambiar la intensidad del desarrollo en lo que respecta al consumo de energía/carbono y de agua. A menudo se sugiere que prepararse para el cambio climático en una etapa temprana del desarrollo es más eficaz y económicamente atractivo que reemplazar o actualizar infraestructura ya establecida. La generalización de la eficiencia energética e hídrica en los procesos de planeamiento tiene el potencial de reducir la facturación y de incrementar el acceso, al mismo tiempo en que se manejan los efectos secundarios positivos y negativos de la provisión de energía y agua.

En este informe centrado en Lima-Callao se consideran las maneras en que la relación entre energía, agua y desarrollo podría modificarse en ciudades que crecen rápidamente con necesidades de desarrollo apremiantes. En cuanto a la energía, aunque en el estudio se considera la oferta de energía, el objetivo principal es revisar la efectividad en cuanto al costo¹ y el carbono² de una amplia gama de opciones eficientes en el uso de energía, opciones de energía renovable y opciones bajas en carbono que podrían aplicarse en diferentes sectores de Lima-Callao. Luego se analiza existe un caso económico para realizar inversiones considerables en estas opciones en toda la ciudad, y si estas inversiones tienen el potencial de lograr que la ciudad se oriente hacia una vía de desarrollo más eficiente energéticamente y más baja en carbono. En cuanto al agua, en el informe se consideran las interacciones entre oferta y demanda, y la capacidad de la ciudad de adaptarse a algunos de los riesgos asociados con el cambio climático.

Se evalúan los costos y los beneficios directos de una amplia gama de opciones que podrían desplegarse para incrementar la oferta de agua y para reducir la demanda de agua, y se tiene en cuenta que parte de los costos y los beneficios indirectos de los cambios de la oferta y la demanda de agua podrían ser muy significativos. Se considera si existe un caso económico para realizar inversiones considerables relativas a la oferta y la demanda de agua, y se presentan distintas opciones basadas en la expansión de la oferta –lo cual podría tener costos indirectos importantes (sociales, económicos y ambientales)– y en la reducción de la demanda (lo cual podría evitar parte de esos costos indirectos).

¹ El objetivo es que las inversiones tengan el menor costo posible por tonelada de carbono reducida.

² El objetivo es maximizar la cantidad de emisiones reducidas.

El contexto peruano

En cuanto a su superficie, el Perú es el tercer país más grande de América del Sur, y su población de casi 30.000.000 de personas lo convierte en el cuarto país más poblado de la región. Durante los últimos diez años, la economía del Perú ha crecido a una tasa promedio del 6,8% anual, de acuerdo con cifras del Banco Mundial (2014), y apenas se registró una desaceleración temporal durante la crisis financiera. Esta expansión ha estado acompañada de un incremento gradual de las actividades industriales, que representaron el 29,9% del producto bruto interno (PBI) total en el año 2000, y alcanzó el 34,6% en 2012. El Perú también ha intensificado su apertura al comercio. El volumen de sus bienes comercializados se elevó en promedio un 10,1% anualmente durante el mismo período. El sólido desempeño macroeconómico del Perú ha conllevado una mejora de los estándares de vida de su población. De acuerdo con datos del Banco Mundial, el ingreso per cápita creció más del 50% durante la última década, y las tasas de pobreza se redujeron a la mitad, al pasar del 48,5% en 2004 al 25,8% en 2012.

El crecimiento económico del Perú ha estado acompañado de una demanda cada vez más creciente de energía. Dicha demanda ha crecido un 9% anual, cifra equivalente, aproximadamente, a conectar una nueva planta de generación de 500 MW cada año (International Finance Corporation, 2011). El consumo de energía per cápita se ha incrementado de 667 kWh en 2000 a 1.149 kWh en 2013 (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2013). En el Perú, la demanda de energía per cápita sigue siendo baja: se mantiene en un 23% del promedio de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), y en un 53% del promedio de Centroamérica y América del Sur (U.S. Energy Information Administration, s/f). Alrededor del 60% de la generación de energía eléctrica en el Perú proviene de plantas hidroeléctricas, cuya producción es complementada por la de plantas de generación a gas cuando la demanda sobrepasa la capacidad de generación hidroeléctrica y cuando hay escasez de agua. A medida que crece la demanda, se incrementa la participación del gas natural en la matriz energética.

Sin embargo, este crecimiento económico ha estado ligado a mayores presiones sobre el medio ambiente, incluidas el suministro y el consumo de energía y agua. Debido a la demanda creciente de energía y a los cambios en la combinación energética, así como a la ineficiencia en el uso de la energía, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se incrementaron en el Perú un 15% (desde 120 MtCO₂e hasta 138 MtCO₂e) en el período comprendido de 2000 a 2009 (Ministerio del Ambiente del Perú, 2010a). El Perú está particularmente expuesto a los impactos

de mayores emisiones de GEI. Está clasificado como uno de los diez países megadiversos del mundo (The Guardian-Poverty Matters Blog, 2013), y posee cuatro de los cinco tipos de áreas geográficas identificadas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como las más vulnerables al cambio climático, desde las áreas costeras bajas proclives a las inundaciones, las sequías y la desertificación hasta los frágiles ecosistemas montañosos. De acuerdo con el Informe sobre Desarrollo Humano elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en 2013 sobre el Perú, el país ya está siendo severamente afectado por los efectos del cambio climático, derivados de su exposición a eventos climáticos extremos y a la aceleración de tendencias graduales de largo plazo. Se destaca que el Perú ha perdido aproximadamente el 39% de sus glaciares (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2013), y que proporciones significativas de la población del país dependen de actividades relacionadas con el clima, como la agricultura y la pesca, para vivir.

En el Gráfico 1.1 se muestra la composición de las emisiones del Perú por sector. Es notable que las actividades forestales y agrícolas representaron más del 50% de las emisiones en el período 2000-2009, mientras que las emisiones de otros sectores (energía, procesos industriales y residuos) constituyeron aproximadamente el 33% en 2000 y el 40% en 2009.

En 1992, el Perú se convirtió en miembro de la CMNUCC, probablemente la primera acción notable del país en lo que refiere a la cuestión ambiental internacional. Como miembro de la CMNUCC, el país está obligado a producir y actualizar en forma periódica un inventario nacional de GEI (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2014a). En 2002, el Perú firmó el Protocolo de Kioto, alineándose así con el objetivo de la Convención de “estabilizar las concentraciones de gases con efecto de invernadero en la atmósfera a un nivel que prevendría la interferencia antropogénica peligrosa” (Ministerio del Ambiente del Perú, 2011a). La actual Política Nacional del Ambiente del Perú también obliga al país a promover la adaptación de la población y de sus actividades al cambio climático, y a establecer medidas de adaptación dirigidas al desarrollo sostenible (Ministerio del Ambiente del Perú, 2010b).

El 9 de julio de 2011, el gobierno aprobó un Plan Nacional de Acción Ambiental para el período 2011-2021 (Ministerio del Ambiente del Perú, 2011b; Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2014b), en que se establecieron

objetivos y acciones, además de los siguientes compromisos para lograr una economía nacional de bajo nivel de carbono:

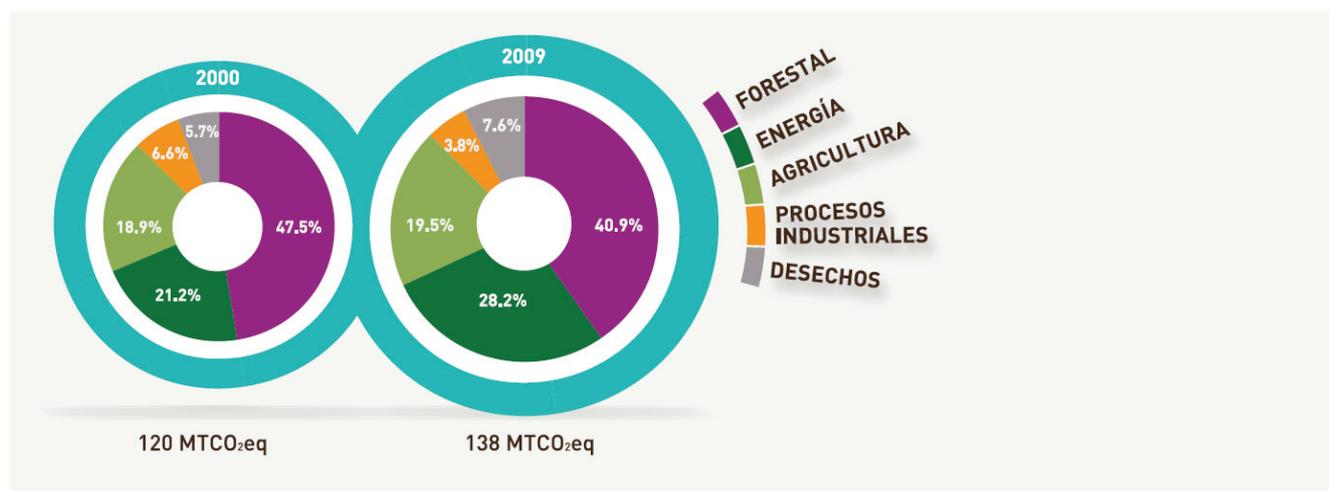
- La utilización de energías renovables no convencionales y de energía hidroeléctrica para proporcionar por lo menos el 40% del total de la energía combinada. Conjuntamente con el uso eficiente de la energía, esta iniciativa se traducirá en una reducción total de las emisiones del 28% respecto del nivel de emisiones de 2000, con un total de emisiones potenciales evitadas de hasta 7 MtCO₂e.
- La captura y la utilización de metano (CH₄) a partir de residuos sólidos urbanos: implementación de un programa nacional para construir rellenos sanitarios en 31 ciudades medianas y grandes, con el potencial de lograr una reducción de emisiones de 7 MtCO₂e.

El Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM) encabeza la Comisión Nacional sobre Cambio Climático (CNCC), que tiene la responsabilidad de coordinar la implementación de los principios de la CMNUCC en los distintos sectores que contribuyen a las emisiones del Perú, y de diseñar y promover

la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático (ENCC). Los esfuerzos realizados a escala nacional en el Perú a fin de salvaguardar el medio ambiente incluyen esquemas como el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), la reducción de emisiones de la deforestación y la degradación de bosques (REDD), y las acciones nacionales apropiadas de mitigación (NAMA). En el Perú, indudablemente, aún se está lejos de poder asegurar un futuro sostenible. Sin embargo, las acciones recientes orientadas a armonizar las cuestiones ambientales con la política nacional y los marcos institucionales relacionados sin duda constituyen los primeros pasos hacia el logro de dicho objetivo.

Desde 2012, el gobierno peruano ha apoyado un programa de mitigación del cambio climático llamado Planificación ante el Cambio Climático (PlanCC),³ cuya actividad inicial se ha concentrado en estudiar los escenarios futuros de largo plazo para identificar las tendencias y las acciones de mitigación económica, social y ambientalmente más rentables en que la sociedad peruana debe invertir. El objetivo a largo plazo del proyecto es catalizar la transformación y permitir inversiones bajas en carbono en el Perú.

Gráfico 1.1: Perú: composición sectorial del inventario de gases de efecto invernadero, 2000 y 2009 (en porcentajes).¹²



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos consultados en Ministerio del Ambiente del Perú (2010a).

³ Véase el sitio web de PlanCC. Disponible: <<http://www.planccperu.org/>>.

Lima-Callao

En el Perú, el área comprendida por Lima-Callao alberga a 9.500.000 personas, lo que la convierte en la zona metropolitana más grande de América del Sur y, de lejos, en el área metropolitana más grande del Perú. Aunque Lima-Callao contiene el 30% de la población del Perú, representa el centro comercial y financiero del país. La mayoría de las exportaciones y las importaciones del Perú pasan a través del puerto del Callao, que, ubicado a apenas 15 km del centro de Lima, es uno de los centros de intercambio de mercancías más grandes de la región (Comunidad Andina, 2014), que representa el 51% del PBI del Perú y el 84% de sus impuestos (Miranda y Torres, 2011).

Lima-Callao ha crecido rápidamente en los años recientes: en el período comprendido de 2000 a 2014 su población se incrementó un 28%, al pasar de 7.400.000 a 9.500.000 habitantes. El crecimiento de Lima-Callao en ocasiones no ocurre de manera planificada: la población en expansión se asienta en los valles a los valles circundantes donde se construyen asentamientos informales en las laderas de las colinas. En esos asentamientos, que albergan a aproximadamente el 12% de la población total, habitualmente se dispone de un acceso limitado al agua —se estima que el 10% de la población de Lima-Callao no tiene acceso directo al agua (León, 2006)—, al saneamiento y a la electricidad. El uso informal del agua representa un 4% del uso total de agua en Lima-Callao, y los usuarios informales obtienen la mayor parte del agua de camiones que les cobran un costo 9 veces superior a la tarifa correspondiente a una conexión formal (Ministerio del Ambiente del Perú, 2013). El uso de electricidad informal representa un 3% del consumo de electricidad total de Lima-Callao, y dicha electricidad se obtiene a través de conexiones clandestinas a la red.

Así como Lima-Callao ha crecido, también se han incrementado los desafíos ambientales que enfrenta la ciudad. En términos del consumo de energía, gracias al uso de la energía hidroeléctrica y del gas se ha logrado que las emisiones de carbono por generación de electricidad sean más bajas que en muchas otras ciudades. Sin embargo, la demanda creciente de electricidad, impulsada tanto por el aumento de la población como por el incremento del PBI, se ha traducido en emisiones de carbono totales más altas en el sector de energía. Los datos analizados durante la elaboración de este informe permiten observar que el uso de energía en Lima-Callao se ha elevado un 82% desde el año 2000, y que las emisiones de carbono de la ciudad se han incrementado un 98% en el mismo período. Más aún, Lima-Callao reúne más del 70%

de la flota de transporte del Perú, y las emisiones del transporte tienen un impacto significativo no solamente en las emisiones de carbono, sino también en la calidad del aire urbano. Se considera que la contaminación producida por los aproximadamente 1.200.000 vehículos de la capital (BBVA Research, 2010), incluidos 60.000 buses públicos con un promedio de antigüedad de 16 años, está entre las peores de América del Sur (Banco Mundial, 2003).

En términos del uso del agua, dado que en Lima-Callao llueve menos de 10 mm cada año, la ciudad está entre las áreas municipales más grandes del mundo situadas en un desierto. En consecuencia, Lima-Callao depende en gran medida de los recursos hídricos de los ríos Rímac, Chillón y Lurín, cuyas cuencas se originan en la cordillera de los Andes.⁴ Sin embargo, las fuentes de agua están cerca de ser plenamente explotados y las proyecciones de los impactos del cambio climático sugieren que hay un riesgo real de sufrir reducciones cuantiosas del suministro de agua, ya que los pronósticos predicen que la precipitación en toda la cuenca del río Mantaro podría reducirse un 19% en el año 2050 (Instituto Geofísico del Perú, 2005). Mientras tanto, la demanda de agua de Lima-Callao se está incrementando rápidamente, en gran medida debido a la creciente población de la ciudad. Observamos que el uso del agua en Lima-Callao se incrementó un 21% en el período comprendido de 2000 a 2014.

La política ambiental clave que ha sido adoptada en Lima-Callao es la Agenda Ambiental Metropolitana. Esta política, que prioriza el uso racional de los recursos naturales y la mejora de la calidad del ambiente de la ciudad, es una herramienta para la gestión ambiental en Lima-Callao. En dicho instrumento se incorporan objetivos específicos como “optimizar la disposición de residuos sólidos en toda la ciudad”, lo que se ha resuelto con el lanzamiento de 20 programas de reciclaje (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2012). Otros objetivos específicos refieren a la reorganización y el fortalecimiento de la gestión ambiental en Lima-Callao, a la mejora de las herramientas para monitorear la calidad del aire y a la promoción del transporte no motorizado, entre otras metas. También se ha elaborado recientemente la hoja de ruta para promover el transporte sostenible en Lima-Callao (Autores varios, 2013), así como un plan nacional para la integración del transporte urbano con el fin de acortar los tiempos de los trayectos, promover la eficiencia del transporte y mejorar la salud de los habitantes de la urbe (Ministerio del Ambiente del Perú, 2013).

⁴ La cuenca del río Mantaro.

Fines y objetivos

Dados los problemas mencionados anteriormente, exploramos la mejor vía para que Lima-Callao se oriente hacia un desarrollo más bajo en carbono y resiliente al clima, que sea eficiente en el uso de la energía y el agua. Incluso en los casos en que hay un amplio interés en lograr dicha transición, se identifican algunos obstáculos importantes que a menudo impiden que en las ciudades puedan implementarse las acciones que componen una agenda tan amplia. Debido a la ausencia de una base de evidencia creíble y localmente apropiada, a los responsables de tomar las decisiones les resulta particularmente difícil actuar, y a los inversionistas les resulta especialmente difícil invertir.

Este estudio busca proporcionar ese tipo de evidencia para Lima-Callao y usarla para examinar si existe un caso económico que pueda ser utilizado para asegurar inversiones en un desarrollo urbano eficiente en agua y energía, bajo en carbono y resiliente al clima. El objeto más específico es entender las consecuencias de mantener un escenario sin cambios (BAU, business as usual) como tendencia de desarrollo, así como evaluar cómo estas tendencias podrían modificarse, mediante la elaboración de listas priorizadas de las medidas más efectivas en términos de costos, y más eficientes para maximizar la reducción de emisiones de carbono y para promover ahorros de agua, que podrían adoptarse efectivamente en los sectores de energía, vivienda, comercio, transporte, industria, residuos y agua de la ciudad.

Con respecto a la energía, el objetivo es identificar y analizar una amplia gama de medidas de eficiencia energética y bajas en carbono que podrían aplicarse en diferentes sectores de Lima-Callao, a fin de

determinar la eficiencia de esas medidas en cuanto a costo (se busca el menor costo posible por tonelada de carbono reducida) y su eficacia para maximizar la cantidad de emisiones de carbono reducidas. De manera similar, respecto del agua, el objetivo es identificar y examinar el costo efectivo y el uso efectivo del agua de una gama de opciones relativas a la oferta y la demanda que podrían aplicarse para evitar que en Lima-Callao experimente una gran escasez de agua como resultado del crecimiento de la ciudad y del impacto del cambio climático. Sobre esta base, el objetivo es considerar si existe un caso económico que pueda ser utilizado para asegurar inversiones en medidas de energía y agua en toda la ciudad, y además que tengan el potencial de orientar a la ciudad hacia un desarrollo que sea más bajo en carbono y resiliente al clima.

La evidencia de base trata de contribuir a la formulación de políticas y al diseño de programas tanto en sectores particulares como en el nivel de la ciudad. Al identificar las medidas más costo-efectivas, y más eficientes en lo que respecta a la reducción de las emisiones de carbono y al uso del agua, queremos colaborar con las agencias de desarrollo, el gobierno, la industria y las organizaciones de la sociedad civil a fin de promover el diseño de estrategias de desarrollo bajas en carbono y resilientes al clima que permitan la implementación de las oportunidades más atractivas. Cabe notar que la evidencia de base tiene el potencial de promover la obtención del financiamiento brindado por los fondos internacionales del clima, los bancos de desarrollo y otras organizaciones financieras para el desarrollo de medidas nacionales, contribuyendo así a que las inversiones de gran escala se orienten hacia un desarrollo bajo en carbono y resiliente al clima.

Capítulo 2.

Enfoque del análisis

El análisis consta de una serie de etapas clave, que se detallan a continuación.

El análisis de la línea de base

Comenzamos por recolectar datos que nos permitiesen comprender los niveles y la composición de la oferta y la demanda de energía y agua de Lima-Callao. Realizamos esto con diversos sectores, incluidos los sectores energético e hídrico, en lo que se respecta a la oferta, y los sectores de vivienda, comercio, transporte e industria, en lo que refiere a la demanda. También evaluamos el sector de residuos, ya que este genera emisiones de GEI y tiene el potencial de producir energía. Cabe señalar que el año 2014 fue considerado como línea de base en todo el análisis, y que los datos se han proyectado sobre la base de la información disponible más reciente. En el Anexo B se proporciona un breve resumen sobre cómo se ha elaborado la línea de base correspondiente a cada sector.

En lo que respecta a cada uno de estos sectores, y a la ciudad en su conjunto, examinamos la influencia de las tendencias recientes relativas al crecimiento económico, el crecimiento poblacional, el comportamiento del consumidor y la eficiencia energética o hídrica, entre otras. También desarrollamos líneas de base relativas a escenarios sin cambios, basadas en la continuación de estas tendencias hasta 2030. En el Cuadro B1 del Anexo B se resume el proceso principal aplicado para realizar los pronósticos relativos a cada sector (y, en los casos en que fue necesario, los cálculos retrospectivos). Estas líneas de base nos permitieron predecir formas y niveles futuros de la oferta y la demanda energética e hídrica, así como estimar la facturación futura de energía y agua, y las huellas de carbono y agua. Luego, comparamos todas las actividades futuras en función de estas líneas de base.

La identificación y la evaluación de las medidas

Luego, desarrollamos listas de todas las medidas eficientes en cuanto al uso de la energía y el agua, más bajas en carbono, y resilientes al clima que se podrían aplicar en cada uno de los diferentes sectores de la ciudad. Incluimos tanto medidas tecnológicas como de comportamiento. Primero elaboramos listas detalladas de todas las medidas potenciales, sobre la base de

extensas revisiones de la literatura y de consultas realizadas a las partes interesadas, y luego revisamos dichas medidas para eliminar cualquier opción que no fuera aplicable en el contexto de Lima-Callao, y para añadir cualquier otra medida que hubiese sido dejada de lado en una primera etapa. Así realizamos una preselección de medidas para cada sector. Esta preselección no es necesariamente exhaustiva, pues es posible que algunas medidas no hayan sido consideradas, y que otras no se hayan incluido en el análisis debido a la ausencia de datos sobre su desempeño.

Nuevamente, sobre la base de extensas revisiones de la literatura y de consultas con las partes interesadas, evaluamos el desempeño de cada una de las medidas incluidas en la preselección. Consideramos el costo de capital y los costos de administración y mantenimiento de cada medida, centrándonos en los costos marginales o extra de adoptar una alternativa más eficiente energéticamente e hídricamente, más baja en carbono y resiliente al clima, a fin de construir un valor presente neto (VPN) para cada medida.⁵ Luego, realizamos una evaluación realista de los posibles ahorros relativos a cada opción a lo largo de su ciclo de vida, tomando en cuenta las brechas de instalación y de desempeño. Como cada medida puede aplicarse por muchos años, tomamos en cuenta los cambios que se estima ocurrirán a lo largo de su ciclo de vida, relativos, por ejemplo, a los precios de la energía, la intensidad del carbono y los impactos climáticos, a fin de calcular el ahorro de energía o de agua representado por la adopción de cada medida. Asimismo, consideramos el primer año luego de que el proyecto se ha instalado plenamente para estimar los ahorros de energía y, posteriormente, calcular el tiempo requerido para la recuperación de la inversión.

Las estimaciones y los escenarios se sometieron a una revisión realizada en talleres en que se contó con la participación de expertos para asegurar que tales estimaciones y escenarios fueran los más realistas posible. En el Cuadro 2.1 se presenta una lista de todas las medidas consideradas en el análisis. Además, en el Anexo A se incluye una lista de todos los participantes de los talleres de expertos. Finalmente, en el Anexo B se proporciona un resumen de los supuestos clave considerados para desarrollar las medidas individuales, junto con las fuentes de datos principales.

⁵ El VPN consiste en la suma de los valores presentes de flujos de caja asociados con un proyecto. En este caso utilizamos una tasa de descuento del 5% y consideramos precios reales en toda la evaluación.

El alcance del proyecto

En el proyecto se consideran aquellas medidas identificadas en estudios previos, de las buenas practicas internacionales y de los talleres realizados con actores clave en Lima-Callao. Dada la naturaleza del estudio, no hemos considerado algunas opciones específicas. Por ejemplo, no hemos tenido en cuenta el impacto de un cambio significativo del ordenamiento territorial o de la distribución espacial de las actividades dentro de la ciudad. Aunque dichos cambios tienen el potencial de contribuir al logro de reducciones significativas de las emisiones de GEI, están fuera del alcance de este proyecto. Sin embargo, comentamos más adelante el impacto de establecer una ecozona en Lima-Callao (véase el Anexo E). Tampoco hemos considerado medidas como las mejoras en la red eléctrica para permitir expansiones importantes de la contribución de energía renovable a la red, o el manejo de cuencas ribereñas más amplias para permitir un uso más sostenible y eficaz de los recursos hídricos.

La implementación de opciones de mitigación

El tiempo requerido para implementar las opciones de mitigación en toda la ciudad depende de una serie de factores, como el tiempo que toma construir o poner en marcha la medida, el tiempo necesario para la secuencia de de múltiples proyectos, el tiempo requerido para implementar cambios en el sector público, o el necesario para que la medida sea

adoptada por el público general, entre otros. Todas las medidas se implementan a partir de 2015. Sin embargo, hemos seleccionado rangos de adopción dependiendo de cada medida particular. Por ejemplo, los nuevos edificios verdes se desarrollarán en el periodo comprendido de 2015 a 2030, mientras que la desaparición de la iluminación incandescente está programada para ser implementada por completo en 2015. Asimismo, las medidas de suministro de agua se aplicarán de acuerdo al orden señalado en el Plan Maestro del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL).

Medidas mutuamente excluyentes

Como algunas medidas interactúan con otras, la implementación de una acción puede impactar en otra. Por ejemplo, el ahorro de carbono que resulta del uso de calentadores solares de agua depende de la eficiencia energética de los calentadores de agua que son reemplazados, y la eficacia de las medidas de transporte relacionadas con los automóviles depende de la eficiencia del uso de combustible y de las emisiones de carbono del parque automotor considerado. Por lo tanto, hemos diseñado nuestras medidas para que sean mutuamente excluyentes entre sí. En el caso de la electricidad, los ahorros estimados para otros sectores son supuestos para nuestro escenario de línea de base para la electricidad, y los ahorros relativos al sector de electricidad se mantienen dentro de ese sector.

Cuadro 2.1. Lima-Callao: lista de medidas bajas en carbono consideradas.

Sectores	Medidas de mitigación
Generación de electricidad	Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del gas natural (~3.500 MW en 2030); Reconversión de gas natural (1.000 MW en 2030); Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del carbón (~130 MW en 2030); Reconversión de carbón (~80 MW en 2030); Carbón reemplazado por energía eólica (200 MW en 2030); Gas reemplazado por energía eólica (200 MW en 2030); Diésel reemplazado por energía eólica (~130 MW en 2030); Carbón reemplazado por energía solar fotovoltaica (200 MW en 2030); Gas reemplazado por energía solar (200 MW en 2030); Diésel reemplazado por energía solar (~160 MW en 2030); Energía geotérmica 1000 MW (reemplazado por el gas natural); 2.000 MW geotérmicos (reemplazan al gas natural); Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del gas natural + reconversión (~5.700 MW en 2030); Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del carbón + reconversión (~210 MW en 2030); Carbón y gas natural: reconversión (~2.280 MW en 2030); Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del gas natural y del carbón (~3.630 MW en 2030); Todos los escenarios que comprenden el uso de energía eólica (~530 MW en 2030); Todos los escenarios que comprenden el uso de energía solar fotovoltaica (~560 MW en 2030).
Residencial*	Edificios residenciales verdes (20% de nuevas construcciones en el período 2015-2030); Aparatos de entretenimiento de alta eficiencia (EE1); Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE1) (excluido el refrigerador); Aires acondicionados de alta eficiencia (EE1); Lavadoras de alta eficiencia (EE1); Calentadores de agua de alta eficiencia (EE1); Aparatos de entretenimiento de alta eficiencia (EE2); Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE2) (excluido el refrigerador); Aires acondicionados de alta eficiencia (EE2); Lavadoras de alta eficiencia (EE2); Calentadores de agua de alta eficiencia (EE2); Programa de educación para la conservación de la electricidad; paneles solares: meta de 10 MW por año (escenario sin cambios); paneles solares: meta de 20 MW por año (escenario sin cambios); Agua caliente solar: 5% en 2030 (escenario sin cambios); Agua caliente solar: 5% en 2030 (EE1); Agua caliente solar: 5% en 2030 (EE2); Agua caliente solar: 10% en 2030 (escenario sin cambios); Agua caliente solar: 10% en 2030 (EE1); Agua caliente solar: 10% en 2030 (EE2); Refrigeradores de alta eficiencia (EE1); Refrigeradores de alta eficiencia (EE2); Eliminación de luces incandescentes; Eliminación de luces incandescentes y 50% de iluminación basada en LED en 2020; Techos verdes en casas pareadas (10% de nuevas construcciones); Techos verdes en edificios de departamentos residenciales (10% de nuevas construcciones); Infraestructura avanzada de medición en el sector residencial (implementación en un 75%); Reemplazo de gas licuado de petróleo por gas natural: 50% de los hogares conectados en 2020 (860.000 conexiones).
Comercial	Estándares de construcción verde en edificios comerciales; Programa de reconversión de electricidad en el sector público; Programa de reconversión de electricidad en el sector comercial; Reconversión térmico en edificios (gas natural, gas licuado de petróleo, diésel, gasolina); Alumbrado público: conversión a LED; Programa de reconversión de electricidad en centros comerciales; Semáforos: conversión a LED; Programa de reconversión de electricidad en hospitales; Energía solar fotovoltaica en el sector comercial (con tarifas de alimentación garantizadas); Agua caliente proveniente de termas solares en el sector comercial; Infraestructura avanzada de medición en el sector comercial (implementación en un 75%).
Sectores	Medidas de mitigación

Industrial**	Conversión de calderas a gas natural; Conservación de electricidad en otros sectores industriales; Infraestructura avanzada de medición en el sector industrial (implementación en un 75%); Programa de reducción de carbón en la industria del etileno; Programa de reducción de carbón en la industria del cemento; Programa de reducción de carbón en el sector de refinería de petróleo; Programa de reducción de carbón en la industria siderúrgica.
Transporte	Campaña de teletrabajo; Conversión de taxis a gasolina a gas natural; Chatarreo de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por automóviles a gasolina; Chatarreo de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por híbridos; Reemplazo de combis por ómnibus; Reconversión de automóviles a gas natural; Implementación de ciclovías; Sistema de buses de tránsito rápido; Tributo por congestión para automóviles particulares a gasolina y a diésel; Inversiones en gestión del tráfico; Reemplazo de taxis a diésel por gas natural; Reemplazo de taxis a diésel por híbridos; Esquema híbrido: subsidio de US\$ 2.000 para el 10% de los automóviles nuevos.
Residuos	Planta de reciclaje: 261 kt de papel, madera y residuos industriales; Compostaje de residuos en hileras (100.000 ton. por año); Compostaje de residuos en cuba cerrada (100.000 ton. por año); Captura de gas del relleno sanitario Portillo Grande para generación de energía; Quema de gas del relleno sanitario de Zapallal; Uso de residuos para generación de energía eléctrica (1.000 t por día); Incineración de lodo de la planta de aguas residuales de Taboada para producir energía.
Agua	Programa de educación para la conservación del agua; Un 15% de incremento del precio de las tarifas residenciales; Un 18% de incremento del precio de las tarifas residenciales; Un 18% de incremento de las tarifas de agua del sector industrial; Un 15% de incremento de las tarifas de agua del sector comercial; Un 18% de incremento de las tarifas de agua del sector comercial; Recarga del acuífero; Atrapanieblas; Rehabilitación de la red primaria; Pozos en la cuenca del río Chancay (2040); Reservorio del río Chillón; Pomacocha-Río Blanco; Desalinización del agua de mar en el sur; Represa de Casacancha junto con Marca III; Extensión del túnel Graton; Reservorio de Autisha; Recarga del acuífero para el río Lurín; Recanalización del río Rímac; Un 100% de medición de las unidades con servicio en 2020; Caños para baño de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares); Duchas de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares); Inodoros de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares); Caños de cocina de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares); Lavaplatos de alta eficiencia (implementación en un 25% en todos los hogares); Lavadoras de alta eficiencia (implementación en un 25% en todos los hogares); Inodoros de aguas grises para hogares (100;000 en 2030); Reconversión de aguas grises residenciales (50;000 hogares en 2030); Reconversión de aguas grises comerciales (25;000 oficinas en 2030); Edificios residenciales verdes (25% de nuevas construcciones en el período 2015-2030); Edificios comerciales verdes (25% de nuevas construcciones de 2015 a 2030).

** EE1 y EE2 refieren a dos niveles diferentes de desempeño de los aparatos domésticos. Más detalles pueden consultarse en el apartado sobre el sector residencial presentado en el Anexo B. ** En el Anexo B se incluyen los detalles completos sobre el modo en que se desarrollaron las medidas relativas al sector industrial.*

La evaluación del alcance de la implementación

Evaluamos el alcance de la implementación de cada una de las medidas en los diferentes sectores considerados de Lima-Callao, en el período que se extiende hasta 2030. Esta evaluación la realizamos a partir de la línea de base, en que se incluye una evaluación del tamaño y la composición de la oferta y la demanda de energía y agua de los diferentes sectores. Esta estimación no solamente la efectuamos para cada sector considerado en su conjunto, sino también para distintos subsectores. Así, por ejemplo, evaluamos, la capacidad de los hogares de implementar ciertos cambios, con base en la consideración de que dichos hogares poseen distintos niveles de ingreso, y diferentes niveles y formas de consumo de energía y agua, o estimamos la capacidad de un subsector industrial particular para adoptar una determinada opción.

Sobre la base de la información obtenida mediante las consultas a las partes interesadas, desarrollamos niveles probables de implementación hasta el 2030. En algunos casos estimamos niveles de implementación tanto realistas como ambiciosos. Así, las tasas realistas se basan en niveles inmediatamente asequibles de adopción, y las tasas ambiciosas se sustentan en tasas de implementación o adopción que podrían lograrse si se contara con políticas y condiciones favorables. En estas evaluaciones se toman en cuenta los ciclos de vida y las tasas de renovación de medidas existentes que podrían reemplazarse por alternativas energéticas más eficientes o más bajas en carbono, así como las tasas de cambio y crecimiento de sectores relevantes de la ciudad.

Una vez más, nuestras evaluaciones sobre la capacidad para implementar las medidas y las tasas de desarrollo de estas acciones han sido sometidas a la revisión participativa en talleres organizados con expertos para asegurar que las estimaciones sean lo más realistas posible.

Los impactos agregados, la evaluación de las necesidades de inversión y las oportunidades

Luego consideramos en forma conjunta los resultados de nuestra evaluación sobre el desempeño y la capacidad para implementar cada medida a fin de desarrollar agregaciones de la influencia potencial de cada acción en los distintos sectores de la ciudad tomados en conjunto. Esto nos permitió evaluar las necesidades generales de inversión y los retornos, así como los impactos en la oferta y la demanda de energía y agua en los distintos sectores de la ciudad. También nos permitió elaborar cuadros de clasificación de las medidas más efectivas que podrían adoptarse tanto en cada sector particular como en la ciudad en su conjunto para: i) maximizar la cantidad de emisiones reducidas; ii) reducir las emisiones de carbono al menor costo posible por tonelada de carbono reducida, y iii) lograr eficiencia en el uso del agua.

En el Anexo B se presentan explicaciones más detalladas sobre las fuentes de datos, los métodos y los supuestos considerados para analizar cada sector.

Capítulo 3a.

Los hallazgos clave para Lima-Callao: Energía y desarrollo bajo en carbono

a. El contexto cambiante y los impactos de las tendencias de los escenarios sin cambios

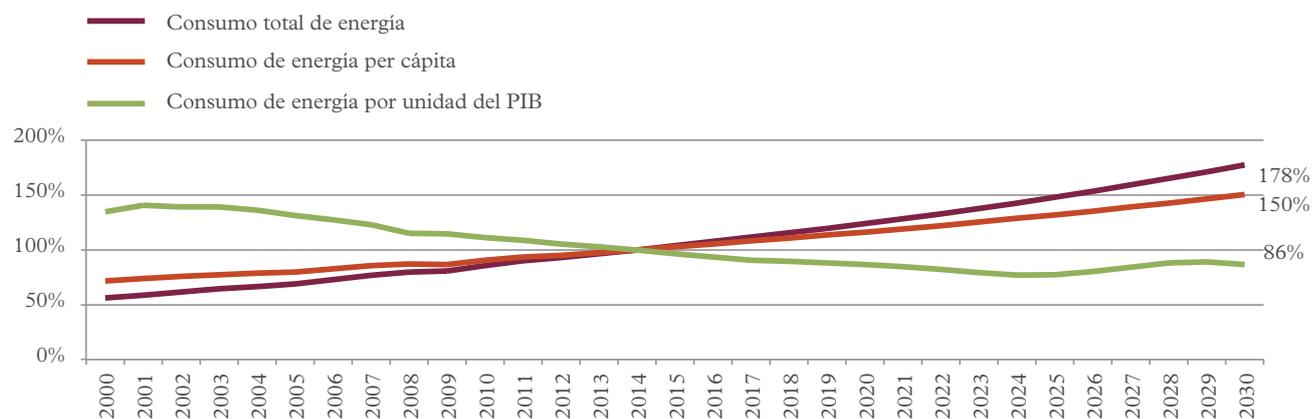
Estimamos que el PBI de Lima-Callao en 2014 es de US\$ 66.100 millones,⁶ y si las tendencias recientes continúan, pronosticamos que crecerá a US\$ 136.000 millones en 2030. Por lo tanto, el ingreso per cápita de Lima-Callao fue de US\$ 7.000 en 2014, y, si consideramos las tasas proyectadas de crecimiento económico y poblacional, podemos estimar que se incrementará a US\$ 12.100 en 2030. También observamos que la facturación total de energía, residuos y agua de Lima-Callao fue de US\$ 5.200 millones en 2014, lo cual equivale al 7,9% del PBI de Lima-Callao. En otras palabras, el 7,9% del ingreso total obtenido en Lima-Callao se gasta actualmente en energía, agua y residuos.

Las tendencias del escenario sin cambios en Lima-Callao señalan un desacoplamiento limitado del producto económico y del uso de la energía en el período comprendido de 2000 a 2030 (véase el

Gráfico 3.1). Sin embargo, el PBI y la demanda de energía per cápita están aumentando continuamente, mientras que la población de Lima-Callao también está creciendo. Estos efectos están contrarrestando las mejoras limitadas relativas a la intensidad energética, y conducen a un incremento neto del uso de energía.

Los precios reales de la energía se han incrementado (sin considerar el impacto del metro y de los estándares Euro IV planificados), con volatilidad, entre el 2000 al 2014. En el caso de la mayoría de las fuentes energéticas hemos considerado un incremento del 2% anual de los precios desde el 2014 hasta el 2030. Observamos que, como resultado de la elevación general de los precios reales de la energía, combinada con el creciente consumo de energía, la facturación total de energía en Lima-Callao será 2,6 veces mayor en 2030 respecto de 2014 en un escenario sin cambios.

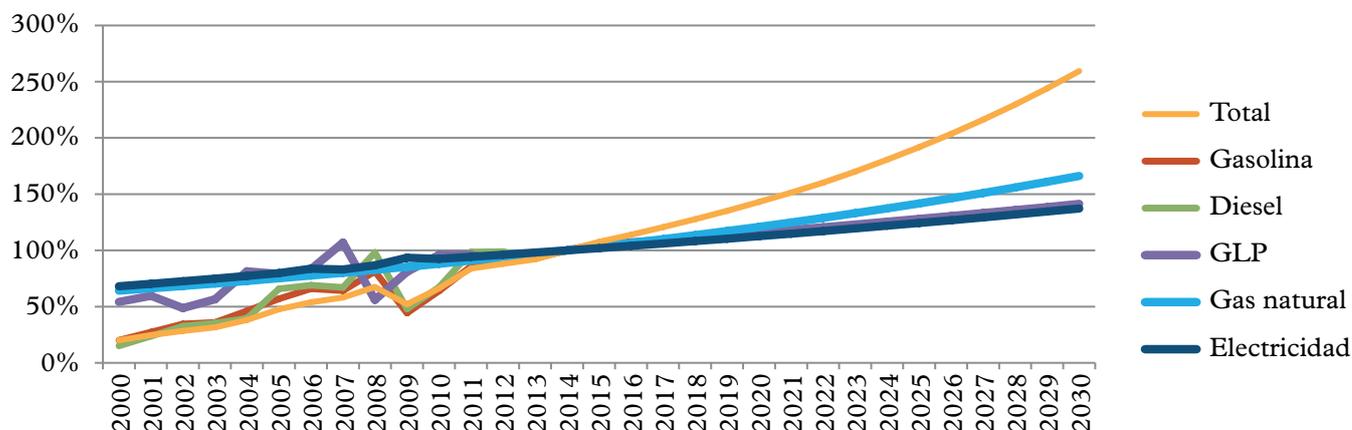
Gráfico 3.1: Lima-Callao: consumo de energía indexado total, por unidad del PBI y per cápita, 2000-2030 (2014=100%).



Fuente: Elaboración propia.

⁶ En US\$ Geary-Khamis.

Gráfico 3.2: Lima-Callao: facturación de energía indexada total y precios de energía indexados, 2000-2030 (2014=100%)



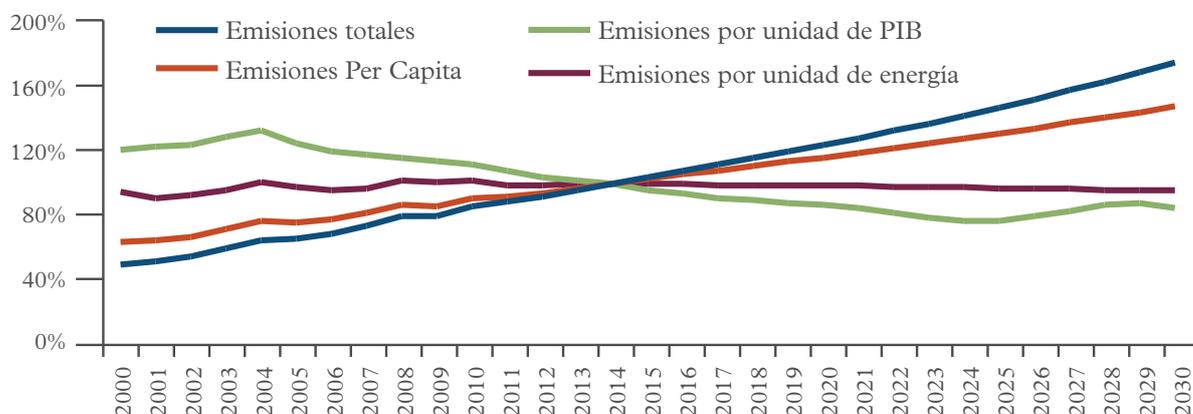
Fuente: Elaboración propia.

Según nuestro análisis, la intensidad de emisiones de la producción de energía permanecerá en gran medida constante hasta 2030. Si se considera que además se producirá tan solo una mejora limitada de la eficiencia energética en la economía más amplia, se prevé que las emisiones producidas por unidad del PBI caigan ligeramente hasta 2025.⁷ Más aún, se considera que las emisiones per cápita y las emisiones totales siguen en aumento debido a la creciente riqueza individual, que conlleva un mayor nivel de consumo de energía. En un escenario sin cambios, se pronostica que las emisiones totales de Lima-Callao se incrementen un 82% en 2030, en comparación con los niveles de 2014.

Cuando esto se combina con el aumento de los precios reales de la energía, el resultado es un incremento del gasto total en energía del 160%. Dicho gasto pasaría desde US\$ 4.700 millones en 2014 a un nivel pronosticado de US\$ 12.300 millones en 2030 (antes de considerar los impactos de los cambios debidos a la Línea 2 del metro y a la implementación de los estándares Euro IV) (véase el Gráfico 3.5).

En cambio, cuando el escenario considerado se combina con niveles relativamente estables de emisiones de carbono por unidad de energía consumida, las estimaciones arrojan un incremento del 82% de las emisiones de carbono, que pasarían desde 15,8 MtCO₂e en 2014 a un nivel pronosticado de 28,7 MtCO₂e en 2030 (véase el Gráfico 3.6).

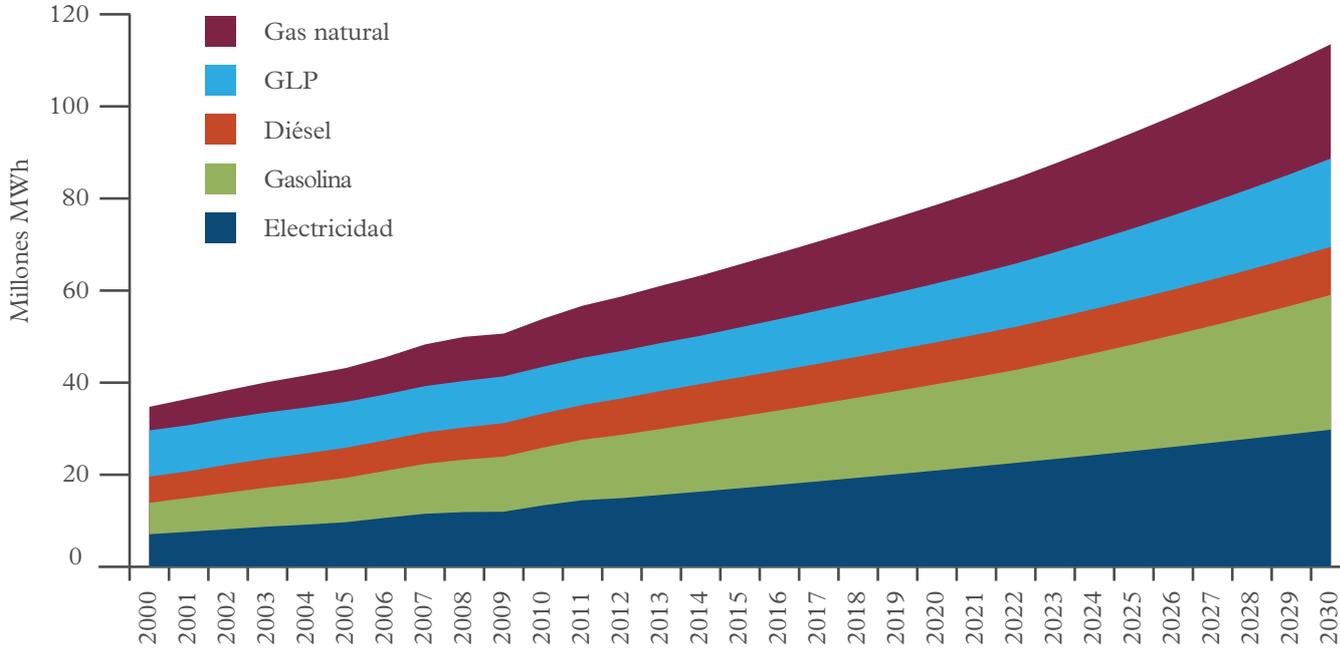
Gráfico 3.3: Lima-Callao: emisiones indexadas totales, por unidad de energía, por unidad del PBI y per cápita, 2000-2030 (2014=100%)



Fuente: Elaboración propia.

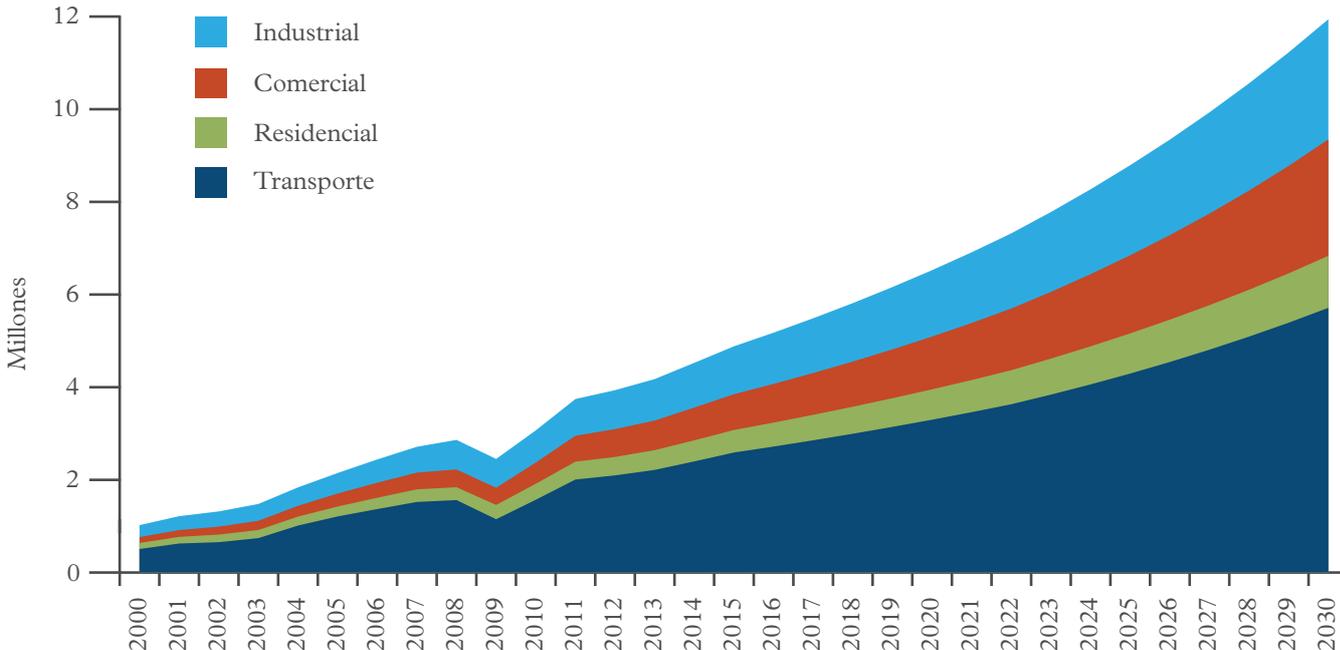
⁷ Luego de 2025, las emisiones por PBI se elevan ligeramente debido al PBI reducido considerado en el modelo.

Gráfico 3.4: Lima-Callao: uso de energía por fuente de energía, 2000-2030 (en millones de MWh).



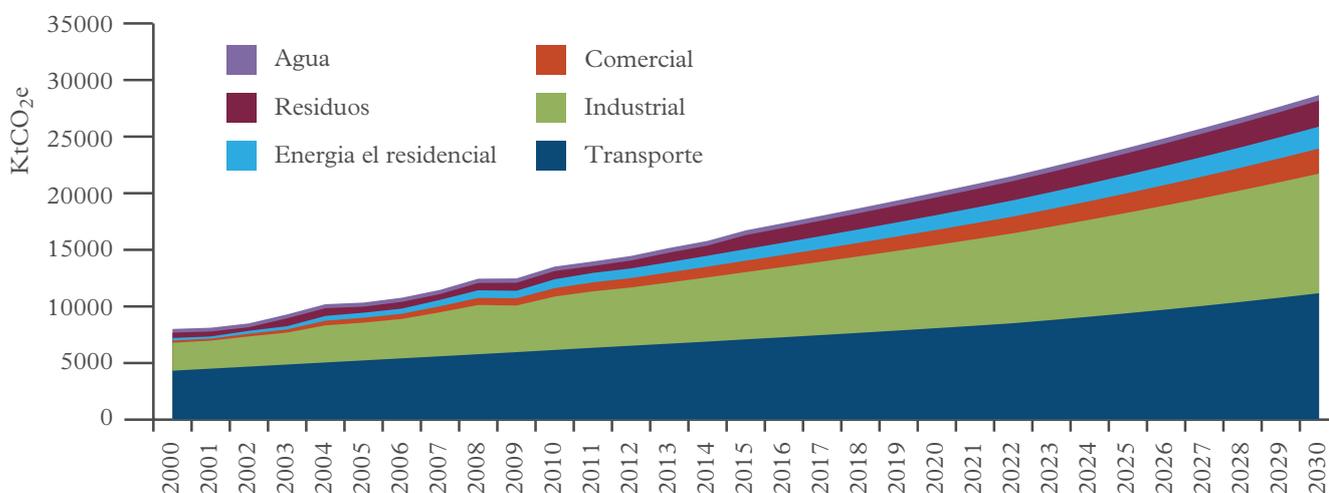
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.5: Lima-Callao: gasto en energía por sector, 2000-2030 (en millones de US\$).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.6: Lima-Callao: emisiones por uso final, 2000-2030 (KtCO_{2e}).



Fuente: Elaboración propia.

El potencial de un desarrollo energéticamente eficiente y bajo en carbono

Observamos que, en comparación con las tendencias del escenario sin cambios, las emisiones de carbono de Lima-Callao podrían reducirse en 2030 en las siguientes proporciones:

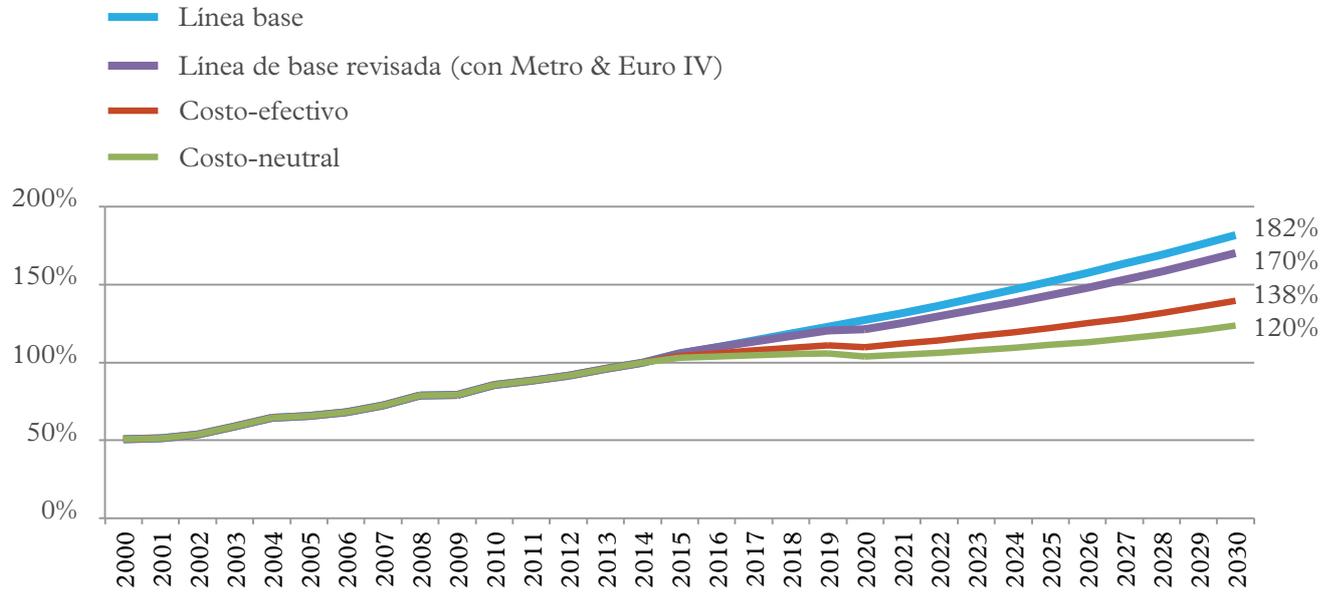
- Un 19%, por medio de inversiones económicamente efectivas que se pagarían con creces en términos comerciales a lo largo de su ciclo de vida. Esto requeriría una inversión de US\$ 5.100 millones, que en el 2030 representaría ahorros anuales en la facturación de energía por un total de US\$ 2.100 millones (a precios de 2014), lo cual significa que las inversiones en estas medidas económicamente efectivas se pagarían en 2,4 años, y supondrían ahorros anuales a lo largo del ciclo de vida de las medidas.
- Un 30%, por medio de inversiones costo-neutrales que cubrirían sus costos a lo largo de su ciclo de vida. Esto requeriría una inversión de US\$ 12.200 millones, que en el 2030 representaría ahorros anuales en la facturación de energía por un total de US\$ 2.700 millones (a precios de 2014), lo cual significa que las inversiones se pagarían en 4,5 años, y supondrían ahorros anuales durante el ciclo de vida de las medidas.

En el Gráfico 3.7 se muestran que aunque los impactos de los cambios en las medidas costo-efectivas y neutras reducirán las emisiones totales respecto a las tendencias del escenario sin cambios, estos no detendrán el alza total de emisiones en términos absolutos. Con la implementación de las

medidas costo efectivas todavía supone un aumento de las emisiones del 38% por encima de los valores de 2014, y las medidas costo-neutrales conllevan un incremento del 20%. Adicionalmente, el impacto en el gasto realizado en energía se muestra en el Gráfico 3.8. Los datos presentados permiten observar que las medidas costo-efectivas supondrán un ahorro de US\$ 2.100 millones (y, por lo tanto, reducirán la facturación de energía en 2030 del 7,9% al 6,4% del PBI) y las medidas costo-efectivas ahorrarán US\$ 2.700 millones (y, por lo tanto, significarán una reducción de la facturación de energía de 2030 del 7,9% al 5,9%).

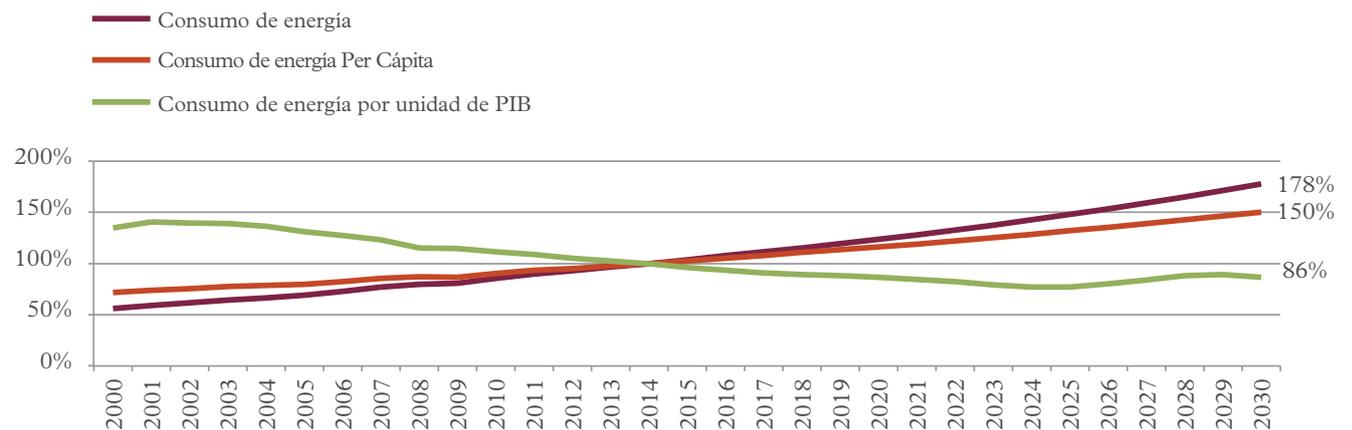
Si los niveles de inversión costo efectivas fueran considerados como inversiones de infraestructura pública, y se utilizaran los multiplicadores económicos sugeridos por Blanchard y Leigh (2013), se observaría que tales inversiones generarían impactos económicos equivalentes al 8% del PBI de Lima-Callao en 2014. El análisis de cada sector particular se presenta en detalle en el siguiente capítulo, y los resúmenes sobre las medidas costo-efectivas y efectivas en la reducción de carbono se incluyen en los anexos C y D, respectivamente. Sobre la base de las mismas consideraciones, los niveles de inversión costo neutral generarían impactos económicos equivalentes al 16% del PBI de Lima-Callao en 2014. Cabe destacar, no obstante, que en la práctica estas inversiones se distribuirían durante el período que se extiende hasta 2030, y que el impacto económico no se restringiría a Lima-Callao.

Gráfico 3.7: Lima-Callao: emisiones indexadas correspondientes a tres escenarios, 2000-2030 (2014=100%).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.8: Lima-Callao : Uso indexado de energía total, per cápita y por unidad de PIB, 2000-2030 (en millones de US\$).



Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 3b –

Los impactos de las tendencias del escenario sin cambios y del cambio climático en el agua

b. El agua y el desarrollo resiliente al clima

Del lado de la demanda, el uso de agua en Lima-Callao se incrementó un 21% en el período comprendido de 2000 a 2014. En cuanto al futuro, existen pronósticos tanto optimistas como pesimistas respecto de la demanda futura de agua en Lima-Callao. Sobre la base del proyecto LiWa (Kosow, León y Schütze, 2013), pronosticamos el que los altos niveles de crecimiento de la demanda conllevarán un aumento del uso de agua del 21% en el período comprendido de 2014 a 2030, y que los bajos niveles de aumento de la demanda supondrán una reducción del uso de agua del 2% durante el mismo período.

En lo que refiere a la oferta de agua en Lima-Callao, esta proviene casi exclusivamente de los ríos Rímac, Chillón y Lurín, y de los acuíferos asociados. El suministro a estos ríos es provisto por agua que se transfiere a través de túneles transandinos. Se planea terminar un túnel transandino adicional en 2040, y podría desviarse el agua de cuencas y embalses vecinos. La mayoría de las opciones para aumentar el suministro de agua conllevan riesgos sociales, económicos, políticos y ecológicos importantes. Por lo tanto, analizamos opciones alternativas para satisfacer la demanda de agua de Lima-Callao.

El cambio climático plantea importantes incertidumbres y riesgos en lo que respecta al suministro de agua en Lima-Callao. Aunque las estimaciones sobre los cambios en las precipitaciones en las cuencas que alimentan Lima-Callao presentan una gran variabilidad, la mayoría de los cálculos sugieren valores que oscilan entre un incremento del 6% y una reducción del 14% durante el período que se extiende hasta 2050. Si partimos del supuesto de que estos impactos se sentirán continuamente hasta 2030, entonces pronosticamos que el suministro total podría incrementarse un 3% o caer un 7% respecto de los niveles de 2014.

Dadas estas incertidumbres relativas tanto a la oferta como a la demanda de agua, y considerando el papel crucial que desempeña el agua en el futuro de Lima-Callao, parece prudente esperar el mejor escenario y, al mismo tiempo, prepararse para el peor. Así, predecimos que el mejor escenario (es decir, una caída del 2% de la demanda de agua sumada a un incremento del 3% de las precipitaciones sobre los ríos que alimentan a Lima-Callao debido al cambio climático) implicaría un superávit del 13% de la oferta sobre la demanda en 2030. También estimamos que el peor escenario (es decir, un crecimiento del 21% de la demanda de agua⁸ sumado a una reducción del 7% de las precipitaciones sobre los ríos que alimentan a Lima-Callao debido al cambio climático) implicaría un déficit del 29% para satisfacer la demanda en 2030.

⁸ En el escenario de demanda pesimista, se prevé que la demanda per cápita aumente un 10% en 2030, hasta 288,51 por habitante por día. En combinación con el crecimiento demográfico previsto, la demanda total de agua se incrementaría un 20,5% en 2030.

El potencial de aumento de la resiliencia climática mediante la eficiencia en el uso del agua

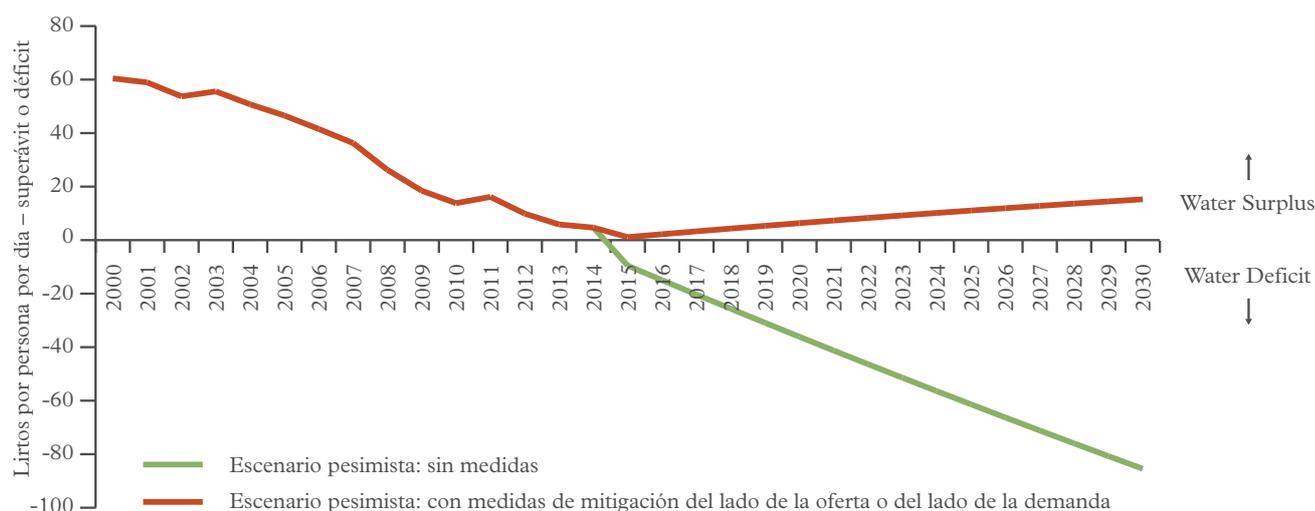
Para considerar las posibles respuestas, evaluamos el potencial de medidas relativas a la oferta y a la demanda para resolver el déficit de agua del 29% que podría ocurrir en caso de concretarse el peor escenario.

— **La estrategia del lado de la oferta.** Si se hacen inversiones en las opciones con más bajo costo, entonces predecimos que el déficit potencial de agua podría evitarse a través de una inversión de US\$ 856.000.000 en medidas relativas a la oferta. Esta inversión, que incrementaría los costos pero no generaría ahorros netos, se pagaría en 10,8 años, y podría ser enteramente financiada a través de un incremento del 18% de las tarifas de agua de los usuarios de agua residenciales, comerciales e industriales.

— **La estrategia del lado de la demanda.** Si priorizamos las medidas del lado de la demanda para reducir los mayores impactos que conlleva aumentar la oferta, entonces predecimos que el déficit potencial de agua podría evitarse a través de una inversión de US\$ 2.000 millones, un 95% de los cuales se utilizarían para reducir la demanda de agua, mientras que un 5% se destinaría a aumentar el suministro de agua. Esta inversión, que incrementaría los costos, pero que también generaría ahorros a través de una menor facturación de agua, se pagaría en un período de 7,4 años. Podría financiarse mediante un incremento del 15% de las tarifas de agua de los usuarios residenciales, comerciales e industriales, y por medio de los ahorros que generarían estas medidas.

En el Gráfico 3.9 se muestra el impacto de las inversiones del lado de la oferta y del lado de la demanda en el marco del peor escenario (alta demanda y baja oferta).

Gráfica 3.9: Lima-Callao: impactos de la inversión desde el lado de la demanda y de la oferta en el escenario pesimista (alta demanda y baja oferta), 2000-2030 (en litros per cápita por día).



Fuente: Elaboración propia.

A más largo plazo, si crecen los impactos del cambio climático en el suministro de agua a Lima-Callao, entonces es probable que deban adoptarse tanto las estrategias relativas a la oferta como las relativas a la demanda.

Enfoque sectorial

El sector de electricidad

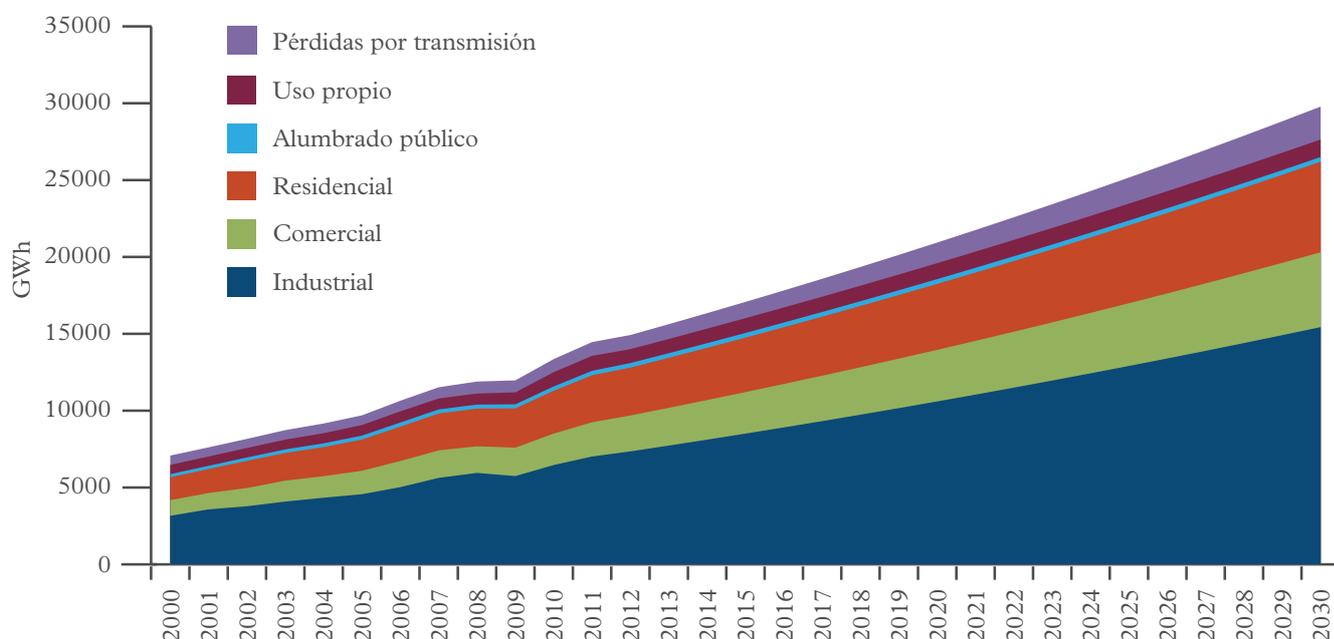


El contexto cambiante y los impactos de las tendencias del escenario sin cambios

En 2014, el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional incluye un 1% de diésel, un 44% de gas natural, un 2% de carbón, un 1% de bagazo y un 52% de energía hidroeléctrica. Proyectamos que en 2030 se registrará un incremento del 91% de la producción de electricidad para el sistema. También estimamos que la combinación de energía utilizada para generar esa electricidad contendrá menos de un 1% de diésel, 55% de gas natural, 2% de carbón, 4% de bagazo y 39% de energía hidroeléctrica,⁹ lo cual significa que en las proyecciones de la línea de base consideramos montos crecientes de algunas fuentes de electricidad. Más aún, al evaluar las opciones de mitigación hemos considerado una mejora de la red que suministra a Lima-Callao para permitir el uso de energías renovables en la ciudad.¹⁰

Se calculó que el consumo de electricidad per cápita en Lima Metropolitana¹¹ fue de 7,0 TWh en el 2000, se elevó a 16,3 TWh en el 2014 y alcanzará 29,8 TWh en 2030. Los datos actuales (2014) muestran que el consumo está dividido del siguiente modo por sector: un 49% corresponde al sector industrial; un 16%, al comercial; un 21%, al residencial, y el remanente corresponde al alumbrado público (2%), pérdidas de transmisión (6%) y uso propio industrial (7%). Se proyecta que los mayores incrementos correspondan al consumo industrial, que se estima pase desde 7,3 TWh en 2014 hasta 15,1 TWh en 2030, reflejando el gran crecimiento industrial que se espera que se produzca en la ciudad. Sin embargo, también se proyecta que los sectores comercial y residencial crezcan de manera importante. Cuando en la estimación también se consideran los crecientes niveles de las emisiones de carbono por unidad de energía consumida, se proyecta que las emisiones de carbono provenientes del sector eléctrico se incrementen de 3.972 ktCO₂e en 2014 a 8.216 ktCO₂e en 2030, un aumento del 107% respecto de las emisiones de 2014, en un escenario sin cambios.

Gráfico 3.10: Lima-Callao: uso de electricidad por sector, 2000-2030 (en GWh).



Fuente: Elaboración propia.

⁹ Estas cifras se basan en datos del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC).

¹⁰ No hemos incluido estos costos en nuestras medidas.

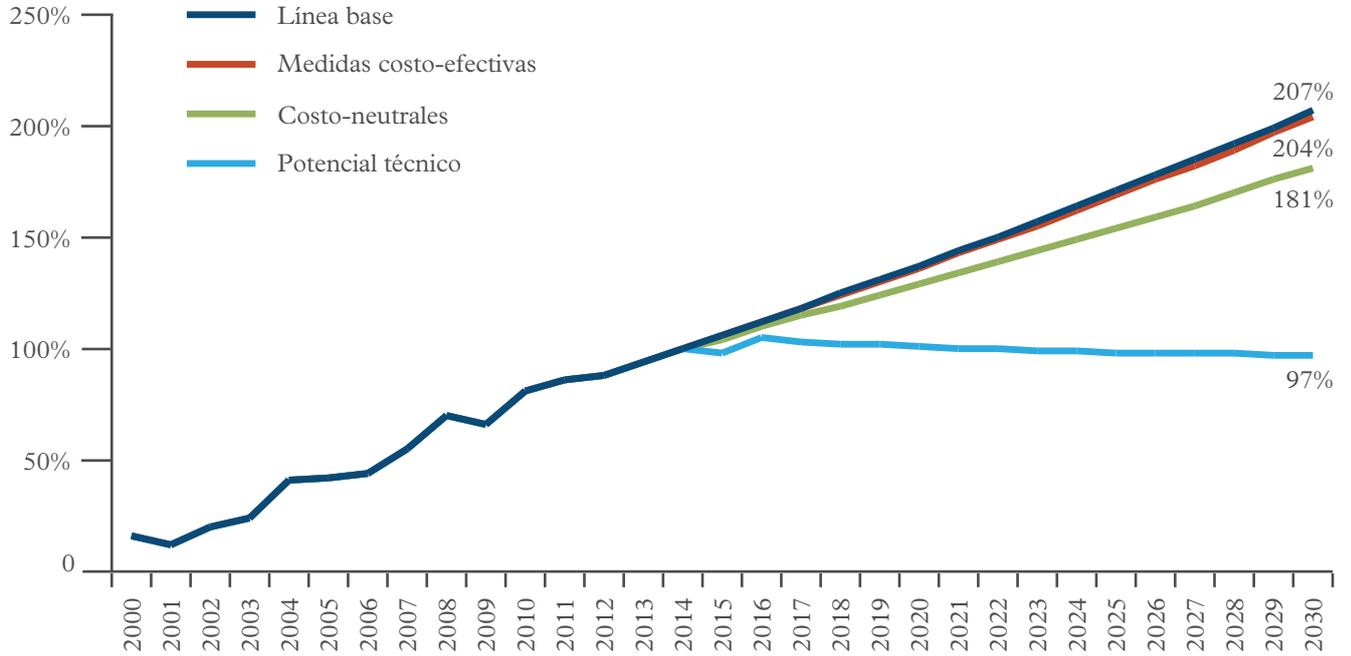
¹¹ Consumo per cápita (kWh) por región, período 2005-2010 (MINEM, 2011).

Observamos que, en comparación con 2014, estas tendencias de los escenarios sin cambios relativos a las emisiones de carbono provenientes del sector de electricidad podrían reducirse en las siguientes proporciones:

- Un 2%, mediante medidas costo efectivas. Esto requeriría una inversión neta de US\$ 261.000.000, que generaría US\$ 74.000.000 de ahorros anuales. La inversión se pagaría en 3,5 años, y supondría ahorros durante todo el ciclo de vida de las medidas.
- Un 12%, mediante medidas costo neutrales. Esto requeriría una inversión de US\$ 1.200 millones, que generaría US\$ 106.000.000 de ahorros anuales. La inversión se pagaría en 11,2 años, y supondría ahorros durante todo el ciclo de vida de las medidas.
- Un 53%, mediante la implementación de todas las medidas de mitigación técnicamente posibles. Esto requeriría una inversión de US\$ 9.100 millones, que generaría US\$ 307.000.000 de ahorros anuales. La inversión original se pagaría en 29,5 años, pero representaría ahorros durante todo el ciclo de vida de las medidas.

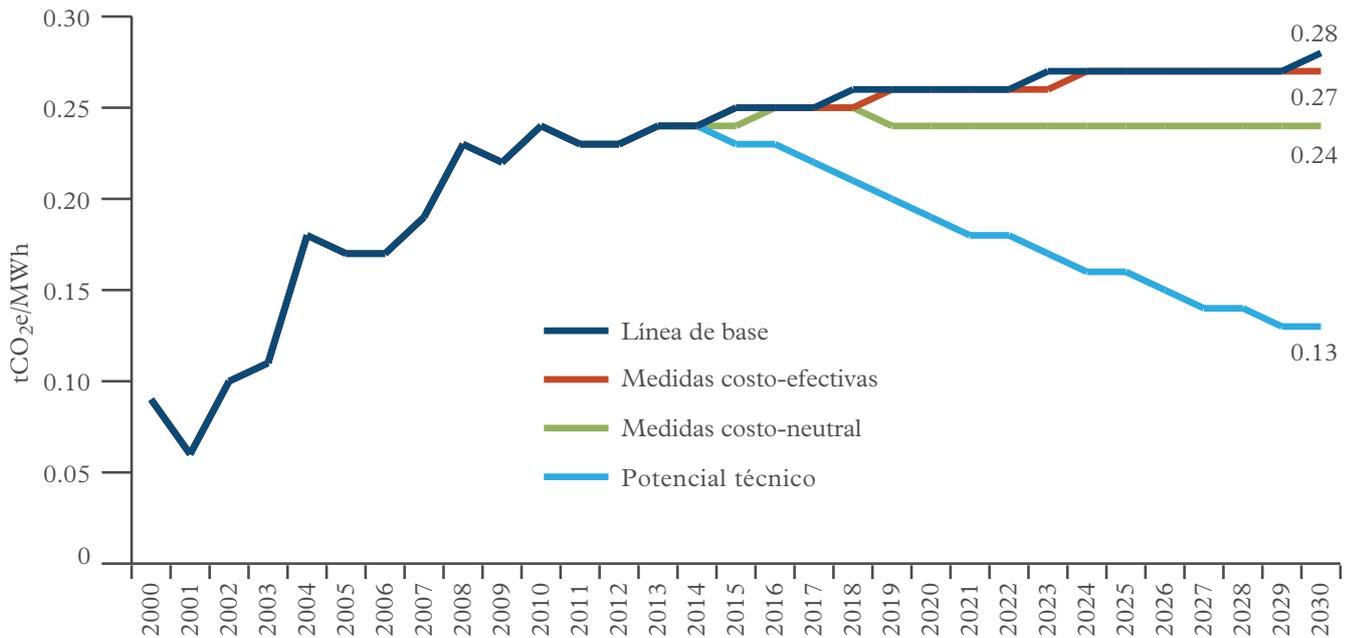
El impacto de estas medidas en las emisiones proyectadas se muestra en el Gráfico 3.11, en que puede observarse que las medidas costo-efectivas representan un incremento de las emisiones del 104%, las medidas costo-neutrales suponen un incremento del 81%, y la implementación de todas las medidas de mitigación técnicamente posibles implica una reducción general del 3% en comparación con los niveles de 2014.

Gráfico 3.11: Lima-Callao: emisiones indexadas del sector de electricidad, 2000-2030 (2014=100%).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.12: Lima-Callao: intensidad de carbono de la electricidad proveniente del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, 2000-2030 (tCO_{2e} per MWh).



Fuente: Elaboración propia.

- Opciones costo-efectivas
- Opciones costo-neutrales
- Todas las demás opciones, incluidas las medidas no costo efectivas y las que son mutuamente excluyentes con otras medidas.

Cuadro 3.1: Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector electricidad clasificadas por costo efectividad (en US\$ de 2014 y S/. de 2014 por tCO_{2e}).

Ranking	Medidas de mitigación	Costo efectividad ¹	
		2014 US\$ por tCO _{2e}	2014 S/. por tCO _{2e}
1	Diésel reemplazado por energía solar fotovoltaica (~160 MW en 2030)	-64	-179
2	Diésel reemplazado por energía eólica (~130 MW en 2030)	-48	-136
3	Carbón reemplazado por energía solar fotovoltaica (200 MW en 2030)	11	31
4	Carbón reemplazado por energía eólica (200 MW en 2030)	7	20
5	Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del gas natural (~3.500 MW en 2030)	7	20
6	Reconversión Gas Natural (1.000 MW en 2030)	15	42
7	2.000 MW de energía geotérmica (reemplaza al gas natural)	17	48
8	Reconversión de carbón (~80 MW en 2030)	14	40
9	1.000 MW de energía geotérmica (reemplaza al gas natural)	16	45
10	Gas reemplazado por energía solar fotovoltaica (200 MW en 2030)	43	120
11	Gas reemplazado por energía eólica (200 MW en 2030)	36	100
12	Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del carbón (~130 MW en 2030)	99	278

¹ Las cifras negativas representan un ahorro por unidad de emisiones evitadas, mientras que las cifras positivas representan el costo por unidad de emisiones evitadas.

Fuente: Elaboración propia.



Opciones costo-efectivas



Opciones costo-neutrales



Todas las demás opciones, incluidas las medidas no costo efectivas y las que son mutuamente excluyentes con otras medidas.

Enfoque sectorial

El sector residencial



El contexto cambiante y los impactos de las tendencias del escenario sin cambios

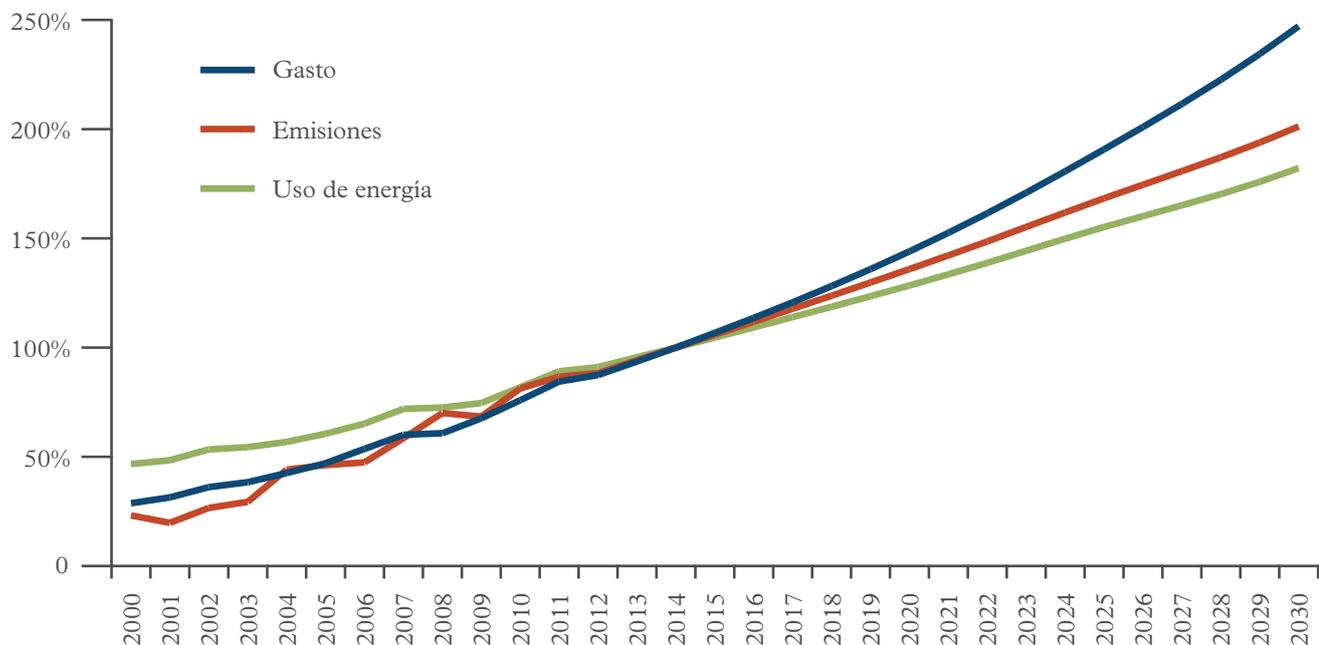
En lo que respecta al sector residencial, las tendencias observadas en ese ámbito sugieren un crecimiento sustancial tanto del número de hogares como de los niveles promedio de consumo de energía por hogar. Estas tendencias combinadas conllevan un aumento del consumo de energía del sector residencial del 83%, desde 4.035 GWh en 2014 a un nivel proyectado de 7.349 GWh en 2030. Cuando esto se combina con el cambio en los precios reales de la energía, el gasto total del sector residencial en energía se incrementa un 147%, al pasar de US\$ 458 millones en 2014 a un nivel proyectado de US\$ 1.100 millones en 2030 (véase el Gráfico 3.13). Cuando se combina con niveles relativamente estables de emisiones de carbono por unidad de energía consumida, el resultado es un aumento del 101% de las emisiones de carbono atribuidas al consumo residencial, que pasan desde 0,96 MtCO₂e en 2014 a un nivel proyectado de 1,9 MtCO₂e en 2030 (véase el Gráfico 3.14).

El potencial de reducción de carbono: inversiones y retornos

En lo que refiere al sector residencial, en comparación con las tendencias del escenario sin cambios, las emisiones de carbono podrían reducirse en las siguientes proporciones:

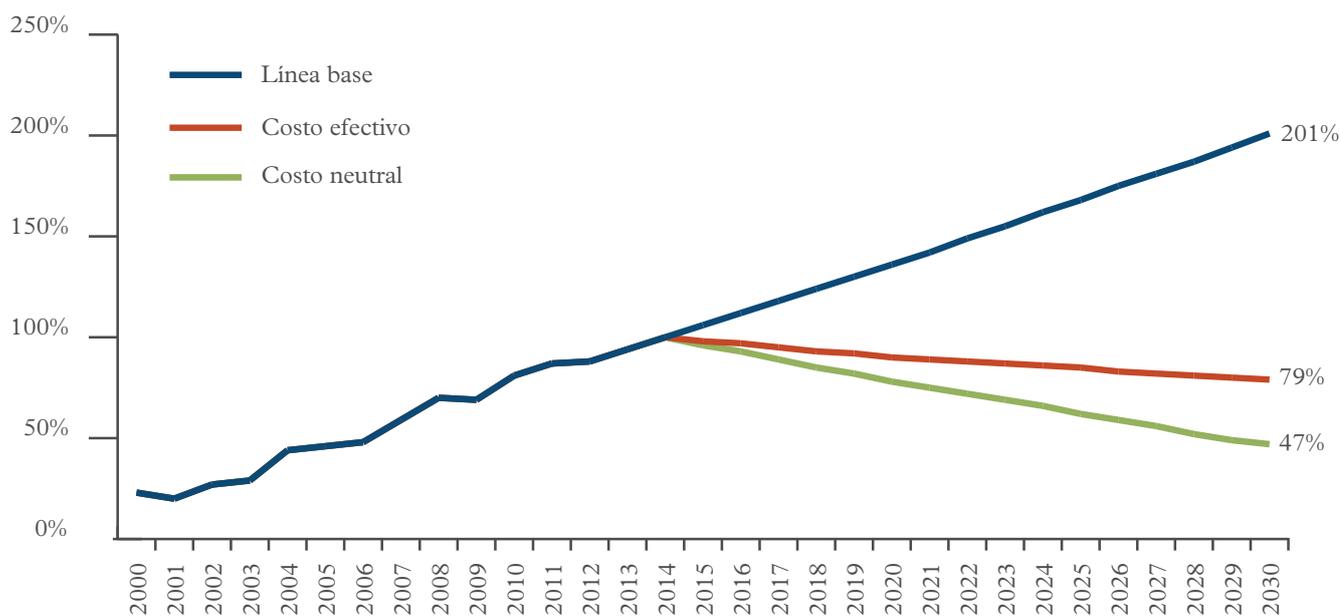
- Un 60%, mediante medidas costo efectivas que se pagarían en términos comerciales a lo largo de sus ciclos de vida. Esto requeriría una inversión de US\$ 1.500 millones y generaría ahorros anuales de US\$ 490 millones. La inversión original se pagaría en 2,9 años pero proveería ahorros a lo largo del ciclo de vida de las medidas.
- Un 77%, mediante medidas costo neutrales que requerirían una inversión de US\$ 3.900 millones y generarían ahorros anuales de US\$ 720.000.000. La inversión original se pagaría en 5,4 años pero proveería ahorros a lo largo del ciclo de vida de las medidas.

Gráfico 3.13: Lima-Callao: gasto, emisiones y uso de energía indexados del sector residencial, 2000-2030 (2014=100%).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.14: Lima-Callao: emisiones del sector residencial indexadas correspondientes a dos escenarios, 2000-2030 (2014=100%).



Fuente: Elaboración propia.

- Opciones costo-efectivas
- Opciones costo-neutrales
- Todas las demás opciones, incluidas las medidas no costo efectivas y las que son mutuamente excluyentes con otras medidas.

Cuadro 3.3: Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector residencial clasificadas por costo efectividad (2014 US\$ y S/. por tCO_{2e}).

Ranking	Medidas de mitigación	Costo Efectividad ¹	
		2014 US por tCO _{2e}	2014 S/. por tCO _{2e}
1	Reemplazo de gas licuado de petróleo por gas natural: 50% de los hogares conectados en 2020 (860.000 conexiones)	-3,301	-9,242
2	Calentadores de agua de alta eficiencia (EE1)	-437	-1225
3	Eliminación de luces incandescentes	-378	-1059
4	Programa de educación para la conservación de la electricidad	-310	-867
5	Infraestructura avanzada de medición en el sector residencial (implementación en un 75%)	-282	-791
6	Eliminación de luces incandescentes y 50% de iluminación basada en LED en 2020	-237	-664
7	Calentadores de agua de alta eficiencia (EE2)	-230	-644
8	Calentadores solares de agua (5% en 2030) (escenario sin cambios)	-221	-618
9	Calentadores solares de agua (10% en 2030) (escenario sin cambios)	-221	-618
10	Calentadores solares de agua (5% en 2030) (EE1)	-203	-569
11	Calentadores solares de agua (10% en 2030) (EE1)	-203	-569
12	Calentadores solares de agua (5% en 2030) (EE2)	-189	-530
13	Calentadores solares de agua (10% en 2030) (EE2)	-189	-530
14	Refrigeradores de alta eficiencia (EE1)	-163	-456
15	Normas de construcción verde (20% de los edificios construidos en el período 2015-2030)	-110	-308
16	Energía solar fotovoltaica: meta de 10 MW por año (escenarios sin cambios)	5	14
17	Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE1) (excluido el refrigerador)	11	30
18	Energía solar fotovoltaica: meta de 20 MW por año (escenarios sin cambios)	20	57
19	Aires acondicionados de alta eficiencia (EE1)	35	99
20	Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE2) (excluido el refrigerador)	105	294
21	Aparatos de entretenimiento de alta eficiencia (EE1)	289	810
22	Refrigeradores de alta eficiencia (EE2)	321	898
23	Aires acondicionados de alta eficiencia (EE2)	692	1,938
24	Aparatos de entretenimiento de alta eficiencia (EE2)	1,283	3,593
25	Lavadoras de alta eficiencia (EE1)	4,507	12,621
26	Techos verdes en edificios de departamentos residenciales (10% de nuevas construcciones)	6,460	18,088
27	Lavadoras de alta eficiencia (EE2)	8,097	22,670
28	Techos verdes en casas pareadas (10% de nuevas construcciones)	14,462	40,494

¹ Las cifras negativas representan un ahorro por unidad de emisiones evitadas, mientras que las cifras positivas representan el costo por unidad de emisiones evitadas.

Fuente: Elaboración propia.

- Costo-efectivo
- Costo-neutral
- Todas las demás opciones, incluidas las medidas no costo-efectivas y las que son mutuamente excluyentes con otras medidas

Cuadro 3.4: Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector residencial clasificadas por su eficiencia para reducir las emisiones de carbono, 2015-2030 (ktCO₂ 2015-2030).

Ranking	Medidas de mitigación	Eficiencia para reducir las emisiones de carbono
		2015-2030 ktCO ₂
1	Eliminación de luces incandescentes y 50% de iluminación basada en LED en 2020	4.268
2	Eliminación de luces incandescentes	2.409
3	Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE1) (excluido el refrigerador)	1.180
4	Refrigeradores de alta eficiencia (EE1)	1.142
5	Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE2) (excluido el refrigerador)	992
6	Refrigeradores de alta eficiencia (EE2)	960
7	Energía solar fotovoltaica: meta de 20 MW por año (escenario sin cambios)	856
8	Calentadores solares de agua (10% en 2030) (escenario sin cambios)	593
9	Aires acondicionados de alta eficiencia (EE1)	575
10	Aires acondicionados de alta eficiencia (EE2)	484
11	Calentadores solares de agua (10% en 2030) (EE1)	469
12	Infraestructura avanzada de medición en el sector residencial (implementación en un 75%)	439
13	Calentadores solares de agua (10% en 2030) (EE2)	404
14	Energía solar fotovoltaica: meta de 10 MW por año (escenario sin cambios)	341
15	Aparatos de entretenimiento de alta eficiencia (EE1)	326
16	Calentadores solares de agua (5% en 2030) (escenario sin cambios)	296
17	Aparatos de entretenimiento de alta eficiencia (EE2)	274
18	Calentadores solares de agua (5% en 2030) (EE1)	235
19	Reemplazo de gas licuado de petróleo por gas natural: 50% de hogares conectados en 2020 (860.000 conexiones)	205
20	Calentadores solares de agua (5% en 2030) (EE2)	202
21	Calentadores de agua de alta eficiencia (EE1)	181
22	Normas de construcción verde (20% de los edificios construidos en el período 2015-2030)	160
23	Calentadores de agua de alta eficiencia (EE2)	152
24	Lavadoras de alta eficiencia (EE1)	61
25	Lavadoras de alta eficiencia (EE2)	52
26	Programa de educación para la conservación de la electricidad	49
27	Techos verdes en casas pareadas (10% de nuevas construcciones)	10
28	Techos verdes en edificios de residenciales (10% de nuevas construcciones)	3

Fuente: Elaboración propia.

Enfoque sectorial

El sector comercial



El contexto cambiante y los impactos de las tendencias del escenario sin cambios

El sector comercial comprende el uso de la energía del sector comercial y del sector público (uso de gas natural, gasolina, diésel, gas licuado de petróleo (GLP) y electricidad) y, por lo tanto, incluye los edificios del sector público y del sector comercial, así como las operaciones del sector público, como el alumbrado de calles.

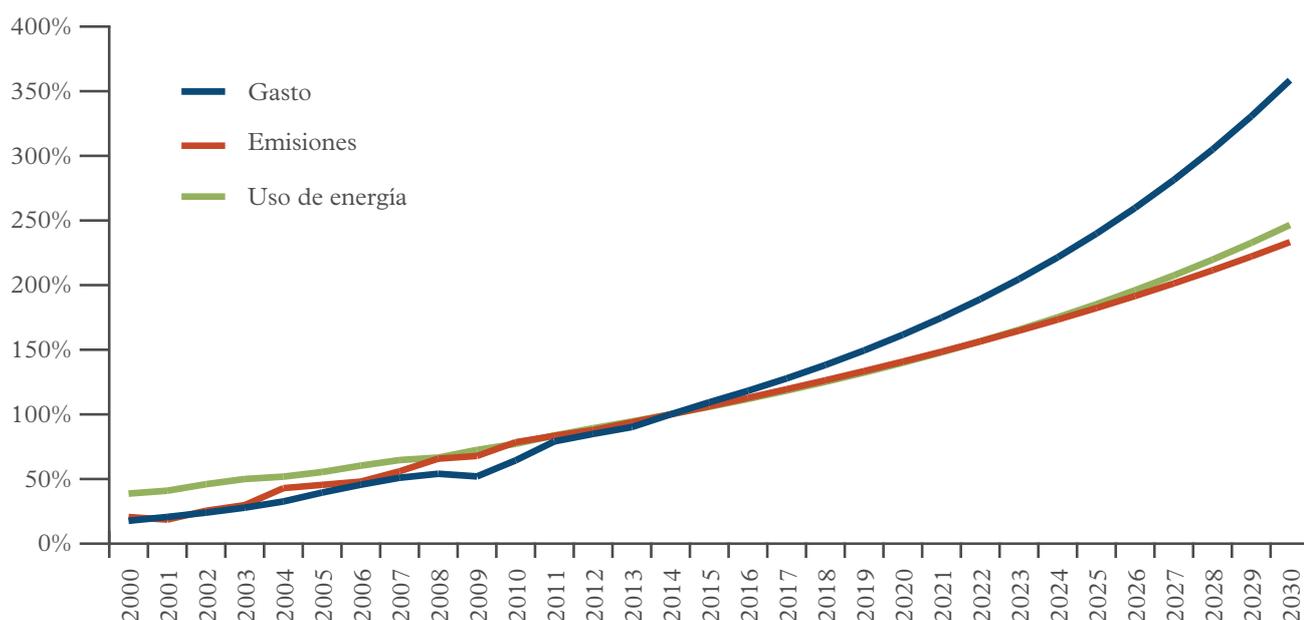
En el sector comercial, las tendencias observadas en ese ámbito sugieren un crecimiento sustancial tanto de la superficie de la ciudad destinada a actividades comerciales, como de los niveles promedio de consumo de energía de cada edificio comercial. Estas tendencias combinadas conllevan una elevación del 147% del consumo de energía del sector, desde 5.512 GWh en 2014 hasta un nivel pronosticado de 13.590 GWh en 2030 (véase el Gráfico 3.15). Esto conduce a un incremento del 258% del gasto total de energía del sector comercial, que pasaría desde US\$ 732.000.000 en 2014 a un nivel pronosticado de US\$ 2.600 millones en 2030 (véase el Gráfico 3.16). Cuando esto se combina con niveles relativamente estables de emisiones de carbono por unidad de energía consumida, se obtiene una elevación del 133% de las emisiones de carbono atribuidas al consumo comercial, desde 0,95 MtCO₂e en 2014 hasta un nivel proyectado de 2,2 MtCO₂e en 2030 (véase el Gráfico 3.17).

El potencial de reducción de carbono: inversiones y retornos

En lo que respecta al sector comercial, en comparación con las tendencias del escenario sin cambios, las emisiones de carbono podrían reducirse en las siguientes proporciones:

- Un 26%, mediante medidas costo-efectivo que se pagarían con creces en términos comerciales a lo largo de su ciclo de vida. Esto requeriría una inversión de capital de US\$ 564.000.000 y generaría US\$ 338.000.000 de ahorros anuales. La inversión original se pagaría en 1,7 años, pero proveería ahorros a lo largo del ciclo de vida de las medidas.
- Un 30%, mediante medidas costo-neutral que se pagarían con creces en términos comerciales a lo largo de su ciclo de vida. Ello requeriría una inversión de capital de US\$ 699.000.000 y generaría US\$ 375.000.000 de ahorros anuales. La inversión original se pagaría en 1,9 años, pero proporcionaría ahorros a lo largo del ciclo de vida de las medidas.

Gráfico 3.15: Lima-Callao: gasto, emisiones y uso de energía indexados del sector comercial, 2000-2030 (2014 = 100%).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.16: Lima-Callao: emisiones indexadas del sector comercial correspondientes a dos escenarios, 2000-2030 (2014 = 100%).

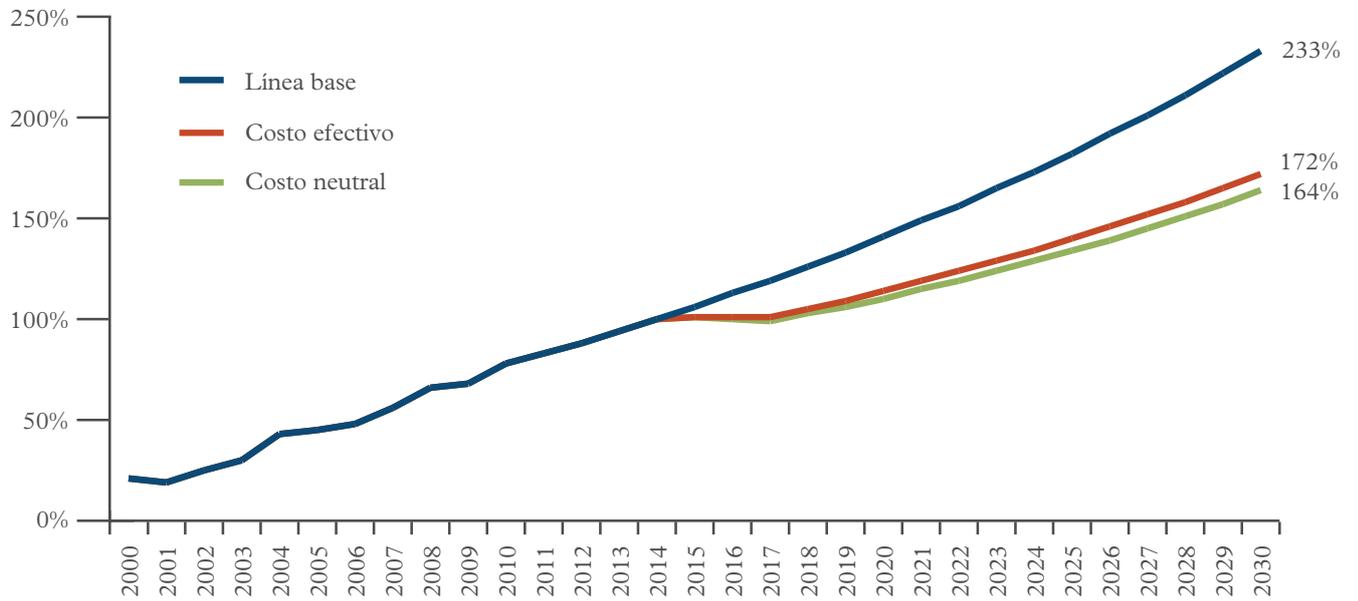
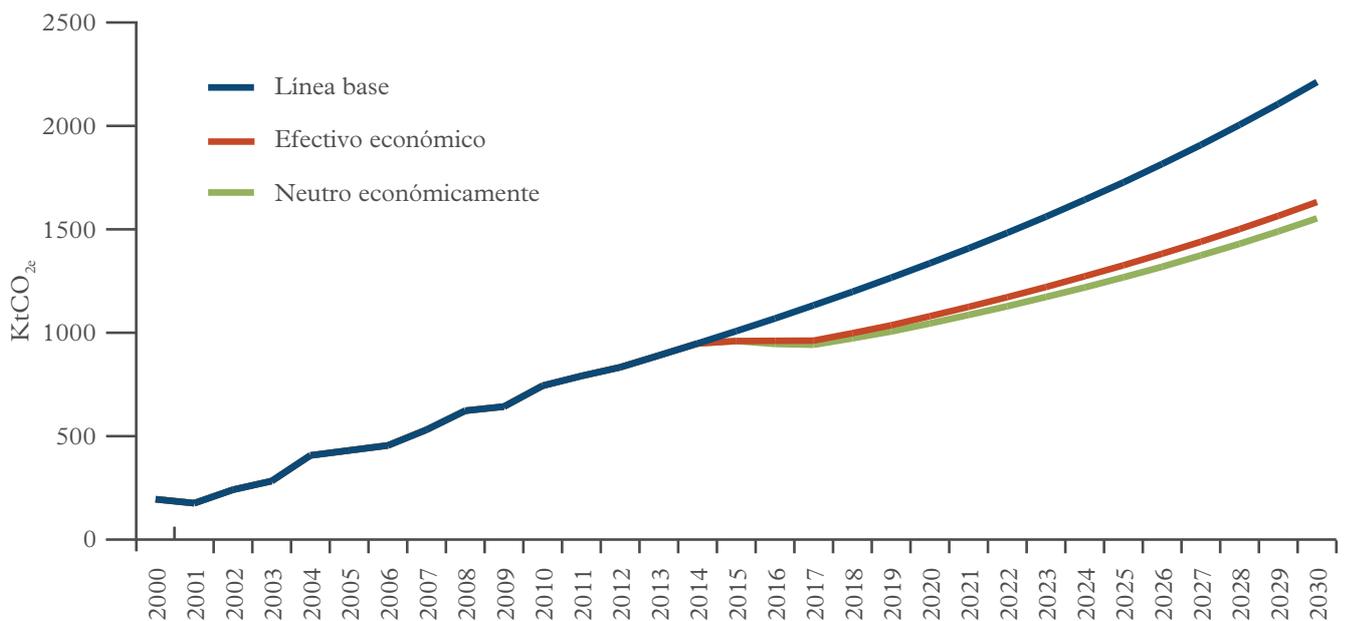


Gráfico 3.17: Lima-Callao: emisiones proyectadas del sector comercial correspondientes a dos escenarios, 2000-2030 (KtCO_{2e}).



- Opciones costo-efectivas
- Opciones costo-neutrales

Cuadro 3.5: Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector comercial clasificadas por costo efectividad (en US\$ de 2014 y S/. por tCO_{2e}).

Ranking	Medidas de mitigación	Costo Efectividad ¹	
		2014 US\$ por tCO _{2e}	2014 S/. tCO _{2e}
1	Normas de construcción verde en edificios comerciales	-1.104	-3.090
2	Programa de reconversión de electricidad en el sector público	-862	-2.413
3	Programa de reconversión de electricidad en el sector comercial	-555	-1.555
4	Reconversión térmica en edificios (gas natural, gas licuado de petróleo, diésel, gasolina)	-484	-1.355
5	Alumbrado público: conversión a LED	-361	-1.012
6	Programa de reconversión de electricidad en centros comerciales	-204	-571
7	Semáforos: conversión a LED	-174	-488
8	Programa de reconversión de electricidad en hospitales	-155	-435
9	Energía solar fotovoltaica en el sector comercial (con tarifas de alimentación garantizadas)	-145	-405
10	Agua caliente proveniente de termas solares en el sector comercial	-35	-99
11	Infraestructura avanzada de medición en el sector comercial (implementación en un 75%)	12	33

¹ Las cifras negativas representan un ahorro por unidad de emisiones evitadas, mientras que las cifras positivas representan el costo por unidad de emisiones evitadas.

Fuente: Elaboración propia.

- Opciones costo-efectivas
- Opciones costo-neutrales

Cuadro 3.6: Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector comercial clasificadas por su eficiencia para reducir las emisiones de carbono, 2015-2025 (en ktCO₂).

Ranking	Medidas de mitigación	Eficiencia para reducir las emisiones de carbono
		2015-2025 ktCO ₂
1	Calentadores solares de agua en el sector comercial	2.008
2	Reconversión térmico en edificios (gas natural, gas licuado de petróleo, diésel, gasolina)	951
3	Normas de construcción verde en edificios comerciales	451
4	Infraestructura avanzada de medición en el sector comercial (implementación en un 75%)	388
5	Programa de reconversión de electricidad en el sector comercial	352
6	Programa de reconversión de electricidad en centros comerciales	352
7	Alumbrado público: conversión a LED	294
8	Programa de reconversión de electricidad en el sector público	90
9	Energía solar fotovoltaica en el sector comercial (con tarifas de alimentación garantizadas)	57
10	Programa de reconversión de electricidad en hospitales	56
11	Semáforos: conversión a LED	35

Fuente: Elaboración propia.

Enfoque sectorial

El sector industrial

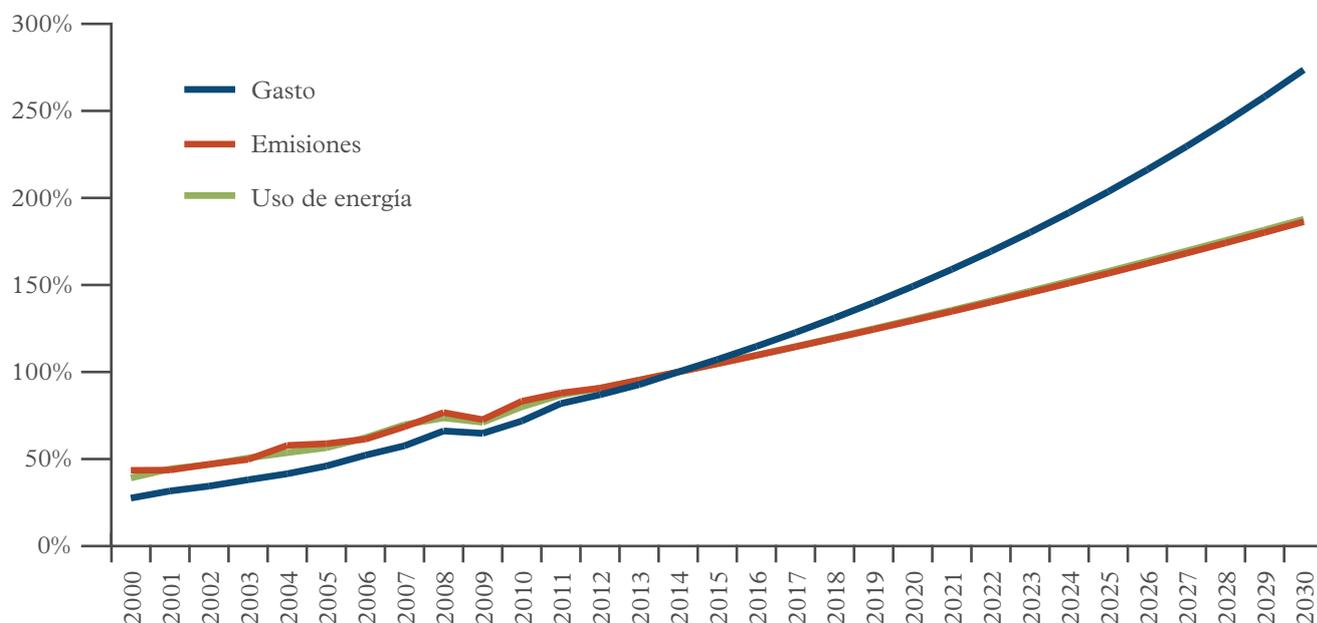


El contexto cambiante y los impactos de las tendencias del escenario sin cambios

En lo que refiere al sector industrial, hemos considerado subsectores industriales con potencial de mitigación de carbono basado, principalmente, de la información consultada en el informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (Bernstein et al., 2007). En el informe se sugiere un gran número de opciones de mitigación que son relevantes para los sectores particulares, pero no analizamos medidas específicas para cada subsector en este informe debido a la falta de información para Lima-Callao.

Para el sector industrial, las tendencias observadas en ese ámbito señalan que el uso de energía industrial se incrementará desde 23.800 GWh en 2014 hasta 44.647 GWh en 2030, lo que representa un aumento del 87%. Esto supone un incremento del gasto total del sector industrial en energía del 174%, al pasar desde US\$ 1.100 millones en 2014 a un nivel pronosticado de US\$ 2.900 millones en 2030 (véase el Gráfico 3.18). Asimismo, conduce a un incremento del 86% de las emisiones de carbono atribuidas al consumo industrial, que pasarían desde 5,67 MtCO₂e hasta 10,6 MtCO₂e (véase el Gráfico 3.19).

Gráfico 3.18: Lima-Callao: gasto, emisiones y uso de energía indexados del sector industrial, 2000-2030 (2014=100%).



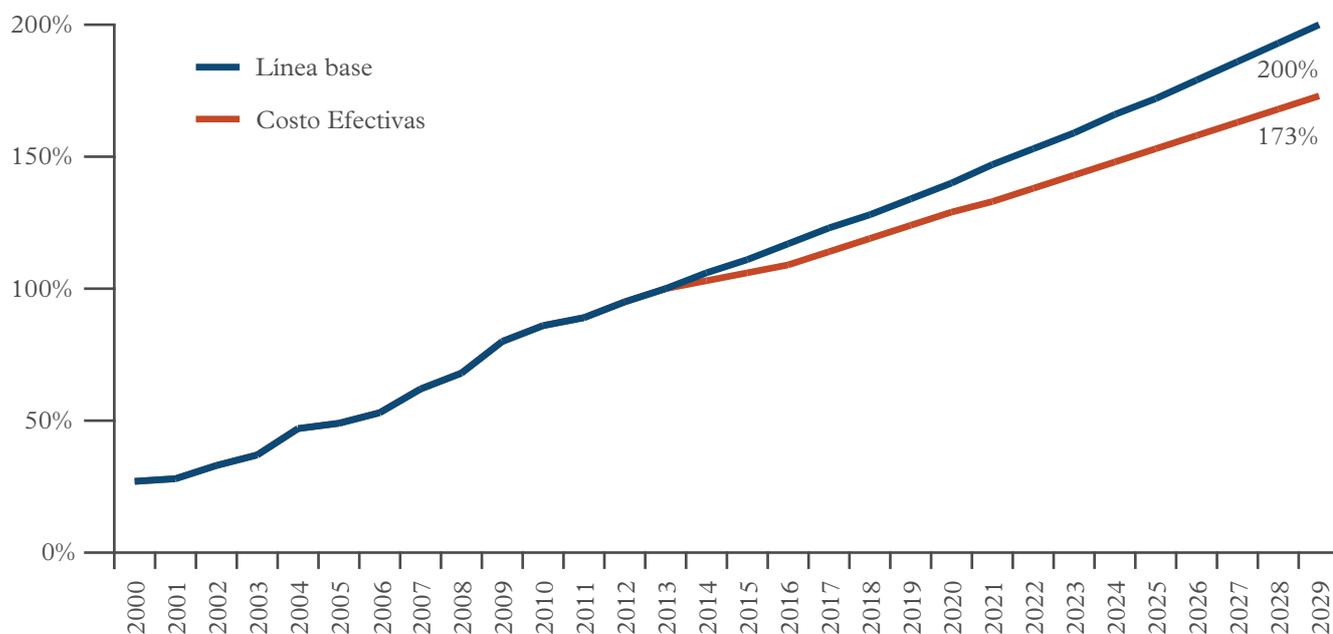
Fuente: Elaboración propia.

El potencial de reducción de carbono: inversiones y retornos

En lo que respecta al sector industrial, en comparación con las tendencias del escenario sin cambios, las emisiones de carbono podrían reducirse en la siguiente proporción:

- Un 13%, mediante medidas costo efectivas. Esto requeriría una inversión de US\$ 261.000.000, que produciría ahorros anuales de US\$ 115.000.000. La inversión inicial se pagaría en 2,3 años pero generaría ahorros durante el ciclo de vida de las medidas.

Gráfico 3.19: Lima-Callao: emisiones indexadas del sector industrial correspondientes al escenario sin cambios y al escenario de medidas costo-efectivas, 2000-2030 (2014=100%).



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3.7: Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector industrial clasificadas por costo efectividad (en US\$ de 2014 y S/. de 2014 por tCO_{2e})

Ranking	Medidas de mitigación	Costo Efectividad	
		2014 US\$ por tCO _{2e}	2014 S/. por tCO _{2e}
1	Infraestructura avanzada de medición en el sector industrial (implementación en un 75%)	-186	-521
2	Programa de reducción de carbono en el sector de refinería de petróleo	-179	-502
3	Conservación de electricidad en otros sectores industriales	-133	-372
4	Programa de reducción de carbono en la industria del etileno	-129	-361
5	Conversión de calderas para a utilizar gas natural	-143	-402
6	Programa de reducción de carbono en la industria siderúrgica	-50	-139
7	Programa de reducción de carbono en la industria del cemento	-45	-126

¹ Las cifras negativas representan un ahorro por unidad de emisiones evitadas, mientras que las cifras positivas representan el costo por unidad de emisiones evitadas.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3.8: Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector industrial clasificadas por su eficiencia para reducir las emisiones de carbono, 2015-2030 (en ktCO₂).

Ranking	Description	Eficiencia para reducir las emisiones de carbono
		ktCO ₂ 2015-2030
1	Conservación de electricidad en otros sectores industriales	3.393
2	Conversión de calderas para utilizar gas natural	3.063
3	Programa de reducción de carbono en la industria del etileno	1.232
4	Infraestructura avanzada de medición en el sector industrial (implementación en un 75%)	1.121
5	Programa de reducción de carbono en la industria del cemento	924
6	Programa de reducción de carbono en el sector de refinería de petróleo	421
7	Programa de reducción de carbono en la industria siderúrgica	275

Fuente: Elaboración propia.

Enfoque sectorial

El sector de transporte



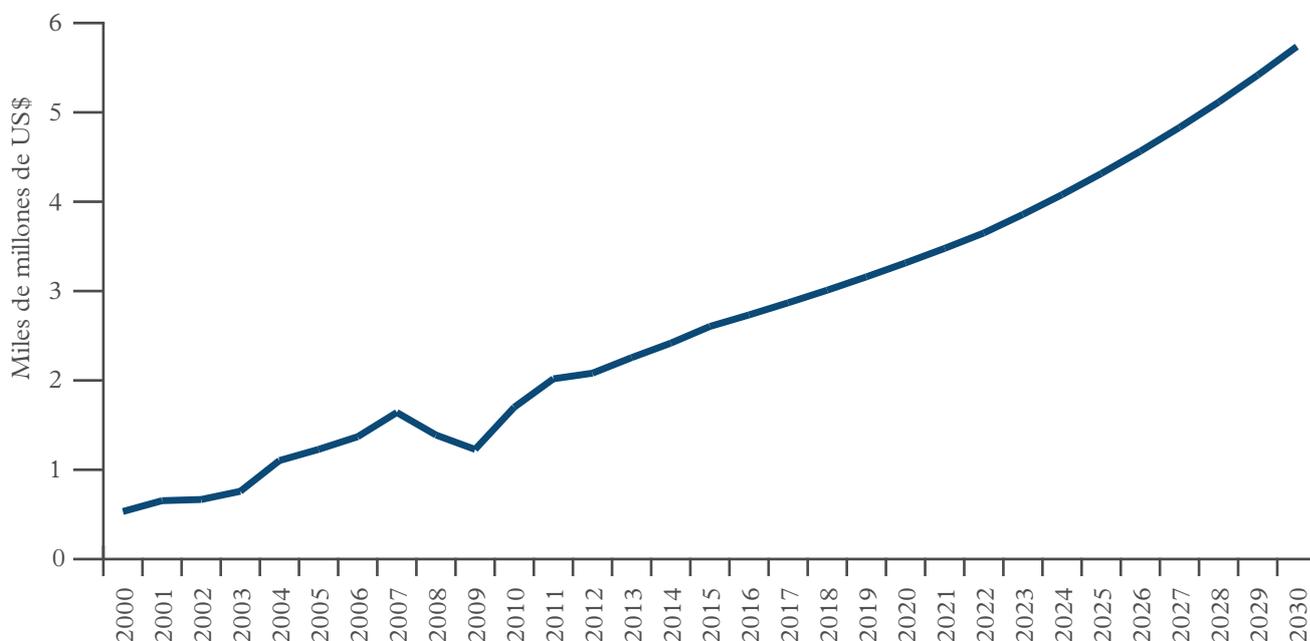
El contexto cambiante y los impactos de las tendencias del escenario sin cambios

En Lima-Callao se ha producido un importante crecimiento de la demanda de transporte desde el año 2000, el número de vehículos se ha incrementado en promedio un 4,6% por año. Si se considera el escenario futuro hacia 2030, el crecimiento continuo a estas tasas conllevará incrementos dramáticos de las emisiones, del gasto de combustible y del tiempo de viaje, mientras que la infraestructura vehicular de Lima se congestionará hasta la paralización. Para evitar este escenario, existe una serie de opciones de inversión en infraestructura del tránsito. Hay un gran número de medidas de mitigación posibles en el sector de transporte, una gran proporción de las cuales se superponen y, por lo tanto, es difícil evaluarlas individualmente. En consecuencia, hemos evaluado una serie de medidas que cubren tanto el sector público como el privado. Debido a que muchas de estas medidas ya están siendo consideradas en Lima-Callao, se dispone de datos sobre su posible impacto. Muchas de dichas medidas se corresponden

con lo señalado en la hoja de ruta para promover el transporte sostenible en Lima-Callao (Autores varios, 2013), cuyo objetivo es reducir tiempos de viaje, promover (o conservar) modos de transporte bajos en carbono y decarbonizar la energía utilizada para transporte en Lima-Callao. Además, en el Anexo E se explora la eficacia de desarrollar una ecozona en Lima-Callao.

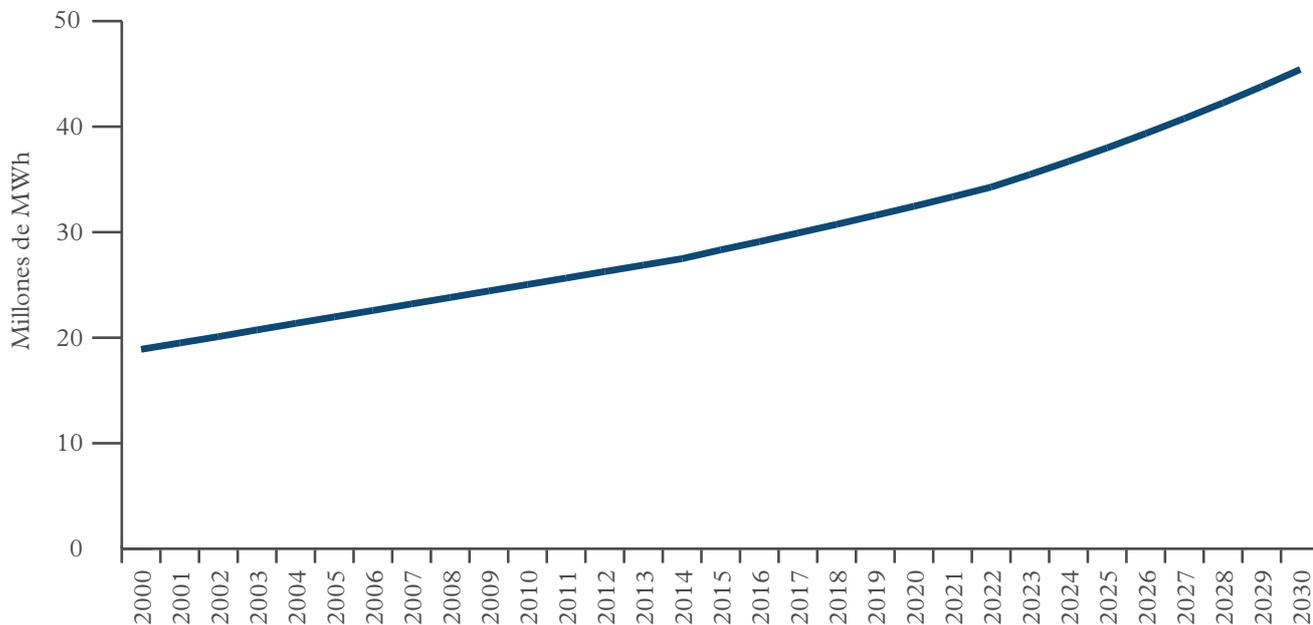
Las tendencias identificadas en el sector de transporte sugieren que el consumo de energía se elevará un 64% desde 29.400 GWh por año en 2014 a 47.700 GWh por año en 2030 (véase el Gráfico 3.21). Cuando esto se combina con un incremento de los precios reales de energía (un 2% anual), se obtiene un incremento del 137% de los gastos totales de energía, que pasarían desde US\$ 2.400 millones en 2014 hasta US\$ 5.700 millones en 2030. Al mismo tiempo, se espera que las emisiones de CO₂e se eleven un 61%, al pasar desde 6.893 Kt en 2014 hasta 11.165 Kt en 2030.

Gráfico 3.20: Lima-Callao: gasto total en combustible del sector de transporte, 2000-2030 (en millones de US\$).



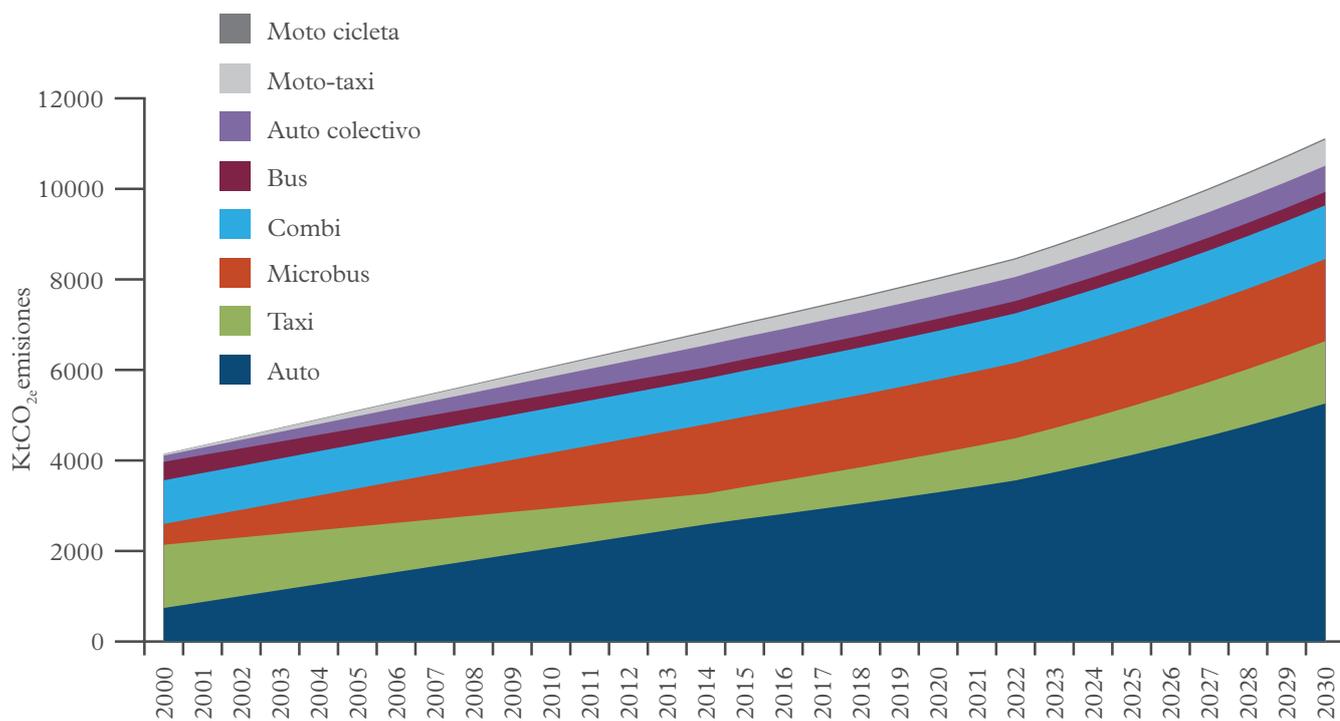
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.21: Uso de energía en el sector transporte, 2000-2030 (en millones de ofMWh).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3.22: Lima-Callao: emisiones de CO₂e del sector de transporte según modo de transporte, 2000-2030 (en ktCO₂e)



Fuente: Elaboración propia.

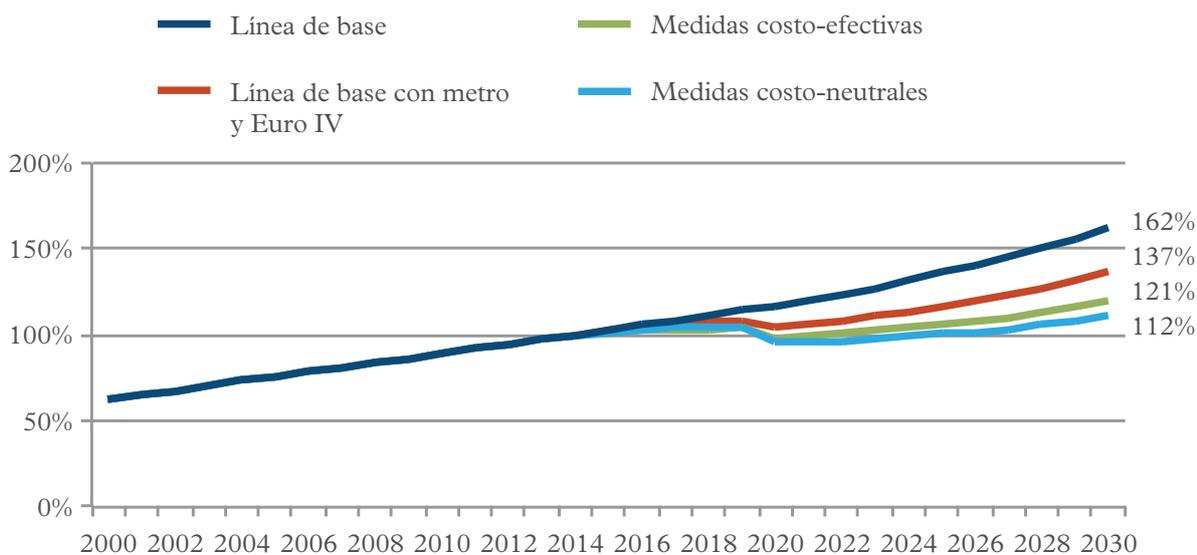
El potencial de reducción de carbono: inversiones y retornos

En lo que respecta al sector de transporte, en comparación con las tendencias del escenario sin cambios, las emisiones de carbono podrían reducirse en las siguientes proporciones:

- Un 15%, mediante las medidas de transporte anticipadas, pero aún no implementadas. Entre dichas medidas se incluyen la Línea 2 del metro de Lima-Callao y las normas de eficiencia de combustible correspondientes a los estándares Euro IV.¹²
- Un 26%, mediante medidas costo efectivas que se pagarían con creces a lo largo de su ciclo de vida. Dichas medidas requerirían una inversión de US\$ 1.100 millones y generarían ahorros anuales de energía por un valor de US\$ 832.000.000. La inversión se pagaría en 2,6 años pero generaría ahorros anuales durante el ciclo de vida de las medidas.

- Un 31%, mediante la implementación de todas las medidas con potencial efectivo para el ahorro de carbono. Esto requeriría una inversión de US\$ 4.900 millones y generaría ahorros anuales de US\$ 1.300 millones. La inversión se pagaría en 3,6 años pero generaría ahorros anuales durante el ciclo de vida de las medidas.

Gráfico 3.23: Lima-Callao: emisiones del sector de transporte correspondientes a tres escenarios, 2000-2030 (2014=100%)



Fuente: Elaboración propia.

¹² Las normas de emisiones Euro IV son reglas de la Unión Europea que definen los límites aceptables para las emisiones de gases. Las normas actuales de la Unión Europea para los pasajeros se dirigen a alcanzar 130 g/km en 2015 y 95 g/km en 2021.

- Opciones costo-efectivas
- Opciones costo-neutrales
- Todas las demás opciones, incluidas las medidas no costo efectivas y las que son mutuamente excluyentes con otras medidas.

Cuadro 3.9: Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector de transporte clasificadas por costo efectividad (en US\$ de 2014 y S/. de 2014 por tCO_{2e}).

Ranking	Medidas de mitigación	Costo Efectividad	
		2014 US\$ por tCO _{2e}	2014 S/. por tCO _{2e}
1	Campaña de teletrabajo	-2.380	-6.665
2	Conversión de taxis a gasolina a gas natural comprimido	-1.837	-5.144
3	Chatarreo de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por automóviles a gasolina	-1.076	-3.013
4	Chatarreo de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por híbridos	-1.073	-3.003
5	Reemplazo de combis por ómnibus	-1.045	-2.926
6	Conversión de automóviles a gas natural comprimido	-755	-2.114
7	Desarrollo de ciclovías	-600	-1.680
8	Sistema de buses de tránsito rápido	-206	-576
9	Tributo de congestión para automóviles particulares a gasolina y a diésel	-154	-434
10	Inversiones en gestión del tráfico	33	92
11	Reemplazo de taxis a diésel por gas natural	49	137
12	Reemplazo de taxis a diésel por híbridos	136	382
13	Esquema híbrido: subsidio de US\$ 2.000 para el 10% de los automóviles nuevos	164	459

¹ Las cifras negativas representan un ahorro por unidad de emisiones evitadas, mientras que las cifras positivas representan el costo por unidad de emisiones evitadas.

Fuente: Elaboración propia.

■ Opciones costo-efectivas

■ Opciones costo-neutrales

■ Todas las demás opciones, incluidas las medidas no costo efectivas y las que son mutuamente excluyentes con otras medidas.

Cuadro 3.10: Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector de transporte clasificadas por su eficiencia para reducir las emisiones de carbono, 2015-2030 (en ktCO₂).

Ranking	Medidas de mitigación	Eficiencia para reducir las emisiones de carbono
		2015-2030 ktCO ₂
1	Tributo de congestión para automóviles particulares a gasolina y a diésel	6.860
2	Reemplazo de combis por ómnibus	5.485
3	Esquema híbrido: subsidio de US\$ 2.000 para el 10% de los automóviles nuevos	2.755
4	Sistema de buses de tránsito rápido	1.780
5	Inversiones en gestión del tráfico	1.672
6	Conversión de taxis a gasolina a gas natural	838
7	Chatarreo de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por híbridos	683
8	Conversión de automóviles a gas natural	560
9	Chatarreo de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por automóviles a gasolina	557
10	Reemplazo de taxis a diésel por gas natural	551
11	Reemplazo de taxis a diésel por híbridos	428
12	Campaña de teletrabajo	111
13	Desarrollo de ciclo vías	101

Fuente: Elaboración propia.

Enfoque sectorial

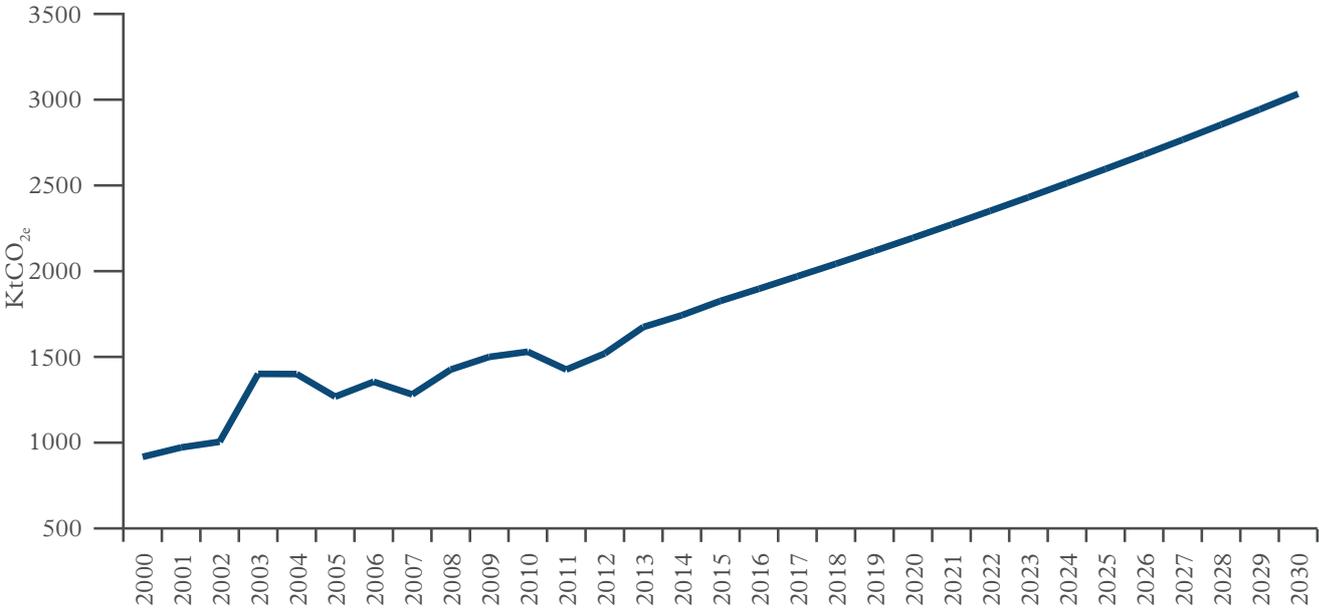
El sector de residuos



El contexto cambiante y los impactos de las tendencias del escenario sin cambios

En el sector de residuos, un incremento continuo de la producción de residuos per cápita, que pasó desde 0,19 ton. por año per cápita en 2000 a 0,32 ton. per cápita en 2014, combinado con el crecimiento de la población, han resultado en un incremento de las emisiones de residuos del 90% desde 2000. Aunque el crecimiento de la población y de la producción de residuos per cápita están disminuyendo, proyectamos que las emisiones provenientes del sector de residuos se elevarán un 75%, al pasar desde 1,7 MtCO_{2e} en 2014 hasta 3,0 MtCO_{2e} en 2030 (véase el Gráfico 3.24).

Gráfico 3.24: Lima-Callao: emisiones del sector de residuos, 2000-2030 (en KtCO_{2e}).



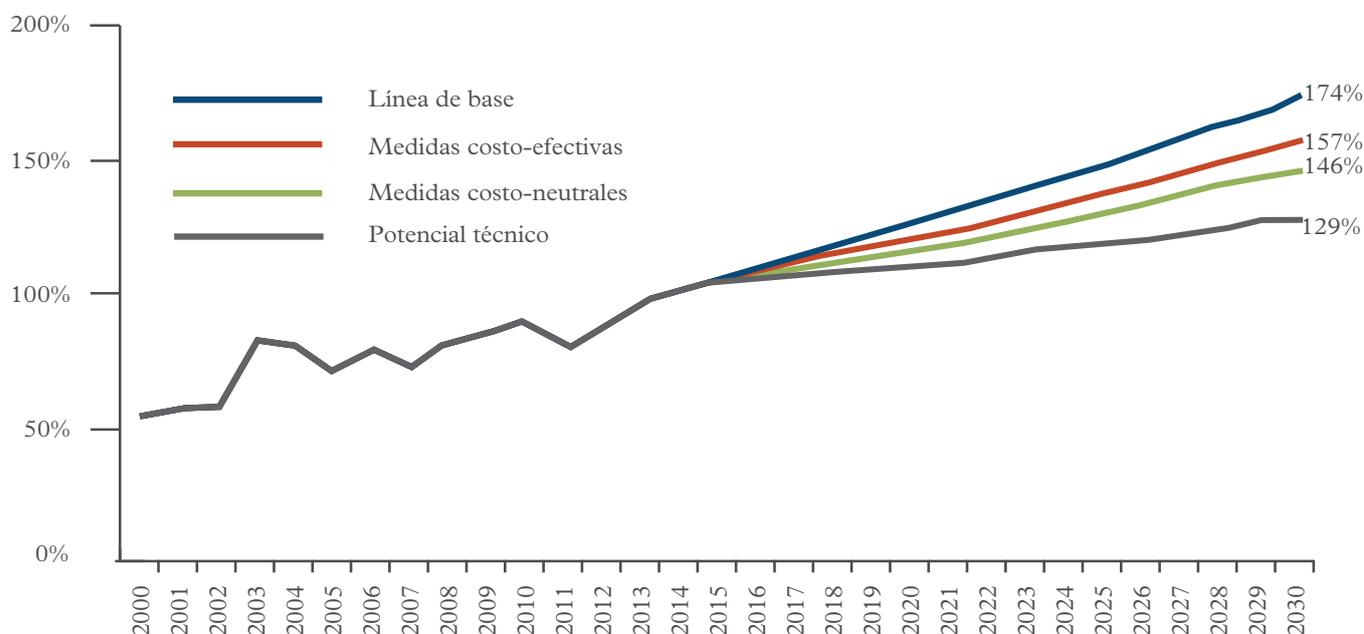
Fuente: Elaboración propia.

El potencial de reducción de carbono: inversiones y retornos

En lo que respecta al sector de residuos, en comparación con las tendencias del escenario sin cambios, las emisiones de carbono podrían reducirse en las siguientes proporciones:

- Un 10%, por medio de inversiones costo-efectivas que se pagarían con creces a lo largo de su ciclo de vida. Se requeriría una inversión de US\$ 8.900.000, que generaría ahorros anuales de energía por un valor de US\$ 2.900.000. La inversión se pagaría en 3,1 años pero generaría ahorros anuales a lo largo del ciclo de vida de las medidas.
- Un 13%, a través de medidas costo-neutrales, financiadas con los ingresos provenientes de la implementación de las medidas costo-efectivas. Se requeriría una inversión de US\$ 14.300.000, que generaría ahorros anuales por un valor de US\$ 3.100.000. La inversión se pagaría en 4,7 años pero generaría ahorros anuales durante el ciclo de vida de las medidas.
- Un 35%, mediante la implementación de todas las medidas con potencial efectivo para el ahorro de carbono. Se requeriría una inversión de US\$ 792 millones, que generaría ahorros de energía anuales por un valor de US\$ 45.700.000. La inversión se pagaría en 17,4 años, pero generaría ahorros anuales durante el ciclo de vida de las medidas.

Gráfico 3.25: Lima-Callao: emisiones del sector de residuos correspondientes a tres escenarios, 2000-2030 (2014=100%)



Fuente: Elaboración propia.

■ Opciones costo-efectivas

■ Opciones costo-neutrales

■ Todas las demás opciones, incluidas las medidas no costo efectivas y las que son mutuamente excluyentes con otras medidas.

Cuadro 3.11: Lima-Callao: medidas de mitigación para el sector de residuos clasificadas por costo efectividad (en US\$ de 2014 y S/. por tCO_{2e}).

Ranking	Medidas de mitigación	Costo Efectividad ¹	
		2014 US\$ por tCO _{2e}	2014 S/. por tCO _{2e}
1	Captura de gas del relleno sanitario Portillo Grande para generación de energía	-3	-7
2	Uso de residuos para generación de energía eléctrica (1.000 ton. por día)	0	0
3	Compostaje de residuos en hileras (100.000 ton. por año)	3	7
4	Quema de gas del relleno sanitario de Zapallal	6	17
5	Planta de reciclaje: 261 kt de papel, madera y residuos industriales	21	59
6	Incineración de lodo de la planta de aguas residuales de Taboada para producir energía.	27	77
7	Compostaje de residuos en cuba cerrada (100.000 ton. por año)	81	226

¹ Las cifras negativas representan un ahorro por unidad de emisiones evitadas, mientras que las cifras positivas representan el costo por unidad de emisiones evitadas.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3.12: medidas de mitigación para el sector de residuos clasificadas por su eficiencia para reducir las emisiones de carbono

Ranking	Medidas de mitigación	Eficiencia para reducir las emisiones de carbono
		2015-2030 ktCO ₂
1	Captura de gas del relleno sanitario Portillo Grande para generación de energía	3,443
2	Incineración de lodo de la planta de aguas residuales de Taboada para producir energía	3,276
3	Uso de residuos para generación de energía eléctrica (1.000 ton. por día)	3,079
4	Compostaje de residuos en cuba cerrada (100.000 ton. por año)	965
5	Compostaje de residuos en hileras (100.000 ton. por año)	772
6	Planta de reciclaje: 261 kt de papel, madera y residuos industriales	683
7	Quema de gas del relleno sanitario de Zapallal	134

Fuente: Elaboración propia.

Enfoque sectorial

El sector del agua



Los impactos de las tendencias del escenario sin cambios y del cambio climático en la oferta y la demanda de agua

En lo que respecta a este sector no hemos podido considerar los impactos relacionados con el uso más amplio del agua dentro de la cuenca, particularmente, el uso de agua para desarrollar actividades como la minería y la agricultura aguas arriba de Lima-Callao, que usan el agua disponible y producen una reducción en la calidad del agua que llega a la ciudad. Aquí, una medida clave es el establecimiento de una estrategia de gestión del agua de toda la cuenca para asegurar que el agua se utilice de una manera justa para la población y la industria ubicadas en la cuenca. Además, no hemos estudiado opciones de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, hay una serie de procesos de tratamiento de aguas residuales que permiten fraccionar los residuos de las aguas residuales y producir energía.

Si se consideran las tendencias de la línea de base, se observa que el uso de agua en Lima-Callao se incrementó un 21% en el período comprendido de 2000 a 2014, lo que ha dado lugar a una situación en que la oferta y la demanda casi se han equilibrado en 2014. En cuanto al futuro, los pronósticos sobre el incremento de la demanda de agua y los impactos del cambio climático sugieren un escenario óptimo caracterizado por un 13% de superávit de la oferta respecto de la demanda en 2030, y un escenario pesimista caracterizado por un déficit del 29%, en que la demanda excede sustancialmente la oferta. Si consideramos el peor escenario posible, el déficit del 29% que podría darse en 2030 puede resolverse ya sea mediante un incremento de la oferta (a través de la implementación de algunas medidas para alcanzar una mayor oferta, que ya se han planeado), o por medio de una reducción de la demanda. Sin embargo, notamos que, a largo plazo, si crecen los impactos del cambio climático en la oferta de agua, entonces es probable que se requiera la adopción de estrategias relativas tanto a la oferta como a la demanda.

La estrategia del lado de la oferta¹³

Como se ha mencionado anteriormente, el déficit potencial de agua podría evitarse a través de una inversión de US\$ 856.000.000 del lado de la oferta, que incluiría un total de US\$ 259.000.000 destinados a instalaciones de tratamiento de agua. Esta inversión, que se pagaría en un período de 10,8 años, podría financiarse mediante un incremento del 18% de las tarifas de agua de los usuarios residenciales, comerciales e industriales. Estas medidas fueron señaladas en informes de planificación del SEDAPAL y, por lo tanto, se alinean estrechamente con el enfoque actual del SEDAPAL para satisfacer la demanda futura de agua en Lima-Callao.

Tal como se muestra en el Gráfico 3.26, las medidas más costo-efectivas para incrementar el suministro de agua incluyen la construcción de reservorios para los ríos Chillón, Casacancha (el cual alimentaría el acueducto transandino Marca IV) y Autisha. Del potencial técnico general para incrementar el suministro de agua a Lima-Callao, un 28% podría provenir de un reservorio para el río Pomacocha con el túnel transandino Marca II; un 14% podría obtenerse de un reservorio en el río Chillón; un 13%, del desvío del río Rímac; un 9%, de un reservorio en el río Casacancha; un 6%, del río Autisha, y el remanente podría obtenerse por medio de una variedad de proyectos más pequeños.

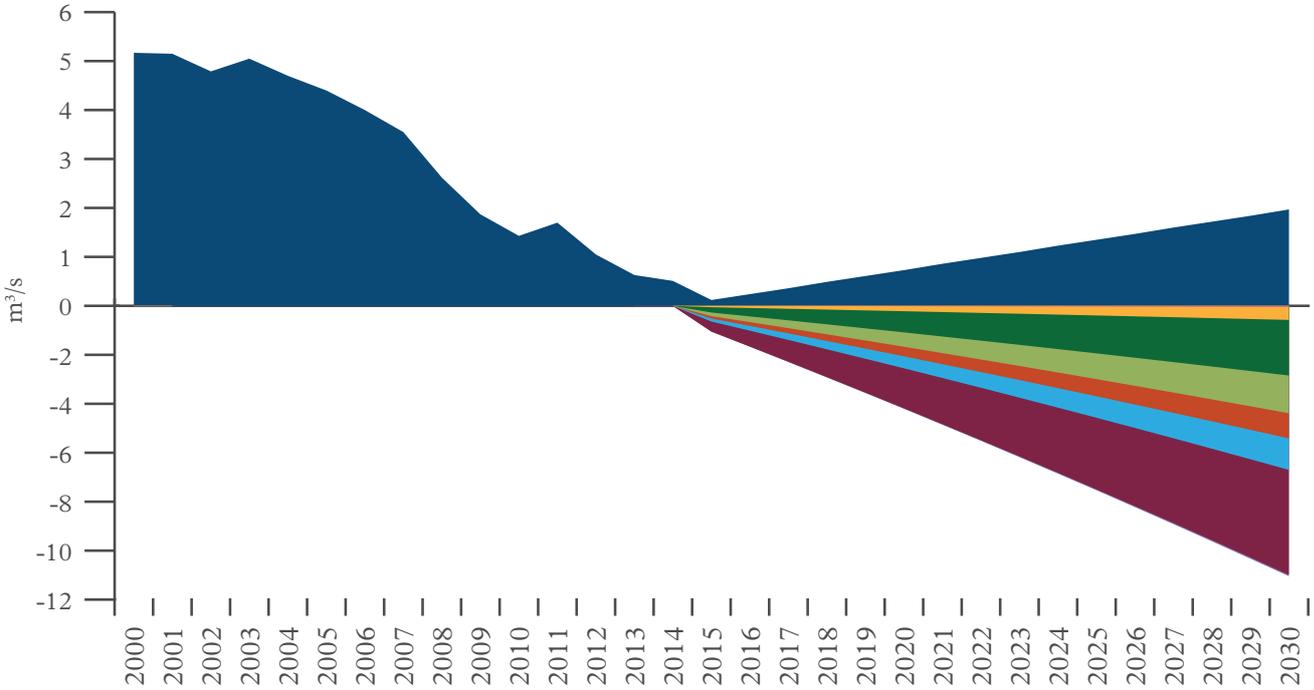
¹³ Se han desarrollado estas medidas con base en las disposiciones del Plan Maestro del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL, 2012).

La estrategia del lado de la demanda

Si priorizamos las medidas del lado de la demanda para abordar las cuestiones relativas a posibles impactos adversos de tipo ambiental y social de las medidas del lado de la oferta, entonces pronosticamos que el déficit potencial de agua podría evitarse a través de una inversión de US\$ 2.000 millones, un 95% de la cual se gastaría en reducir la demanda de agua, mientras que un 5% se destinaría a incrementar el suministro de agua. Esta inversión, que se pagaría en un período de 7,4 años, podría financiarse mediante un incremento del 15% de las tarifas de agua de usuarios residenciales, comerciales e industriales. En comparación con la estrategia relativa al lado del suministro, la estrategia del lado de la demanda supone un período de pago más breve y requiere un menor incremento de la tarifa de agua, ya que hay un retorno mayor de la inversión en lo que refiere a las medidas del lado de la demanda.

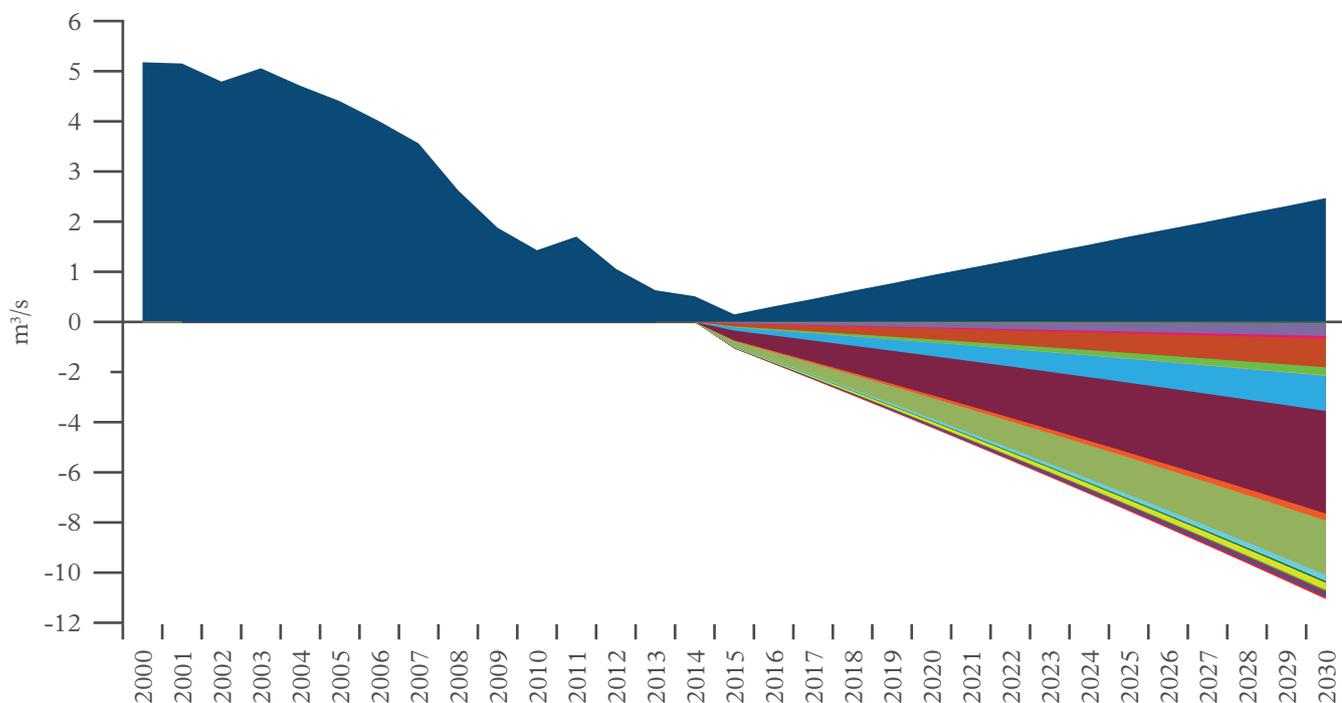
Tal como se muestra en el Gráfico 3.27, entre las medidas más costo-efectivas para reducir la demanda de agua se incluyen la rehabilitación de la red de distribución, la promoción de duchas, caños e inodoros de bajo caudal, y pequeños incrementos de las tarifas de agua. En cuanto al potencial técnico total para reducir la demanda de agua, un 56% podría provenir de la rehabilitación de la red de distribución; un 30%, de la promoción de duchas, caños e inodoros de bajo caudal; y un 5%, de los efectos de los pequeños incrementos de las tarifas de agua. En los cuadros 3.13 y 3.14 se listan las medidas más rentables y más eficaces para reducir el déficit de agua, correspondientes a las estrategias del lado de la oferta y de la demanda.

Gráfico 3.26: Lima-Callao: contribución relativa de diferentes medidas correspondientes a la estrategia del lado de la oferta, 2014-2030 (m³/s).



- Superávit de oferta
- 18% de incremento en tarifas de agua industrial
- Pomacocha - Río Blanco
- En la cuenca del río Chancay (2040)
- Reservorio Autisha
- Represamiento del Casacancha en conjunción con Marca III
- Reservorio Río Chillón
- 18% de incremento en el precio de las tarifas domésticas
- 18% de incremento en tarifas de agua comercial

Gráfico 3.27: Lima-Callao: contribución relativa de diferentes medidas correspondientes a la estrategia del lado de la demanda, 2014-2030 (m³/s).



- Superavit de oferta
- Lavaplatos de alta eficiencia (implementación al 25% en todas las casas)
- Lavadoras de alta eficiencia (implementación al 25 en todas las casas)
- Programa de educación para la conservación del agua
- Incremento del 15% de las tarifas industriales de agua
- Duchas de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares)
- Inodoros domésticos de aguas grises (100,00 para 2030)
- Reconversión de aguas grises residenciales (50,000 para 2030)
- Reservorio del río Chillón
- Caños de bajo caudal en las cocinas (implementación al 50% en todas las casas)
- Rehabilitación de la red primaria
- Inodoros de bajo caudal (implementación al 50% en todas las casas)
- Reconversión de las aguas grises comerciales (25,000 para 2030)
- Edificios domésticos verdes (25% de todas las nuevas construcciones, 2015-2030)
- Duchas de bajo caudal (implementación al 50% en todas las casas)
- Edificios comerciales verdes (25% de nuevos edificios, 2015-2030)
- Incremento del 15% en el precio de las tarifas domésticas
- 100% de medición en las unidades con servicios para 2020
- Incremento del 15% en las tarifas comerciales de agua

- Opciones costo-efectivas
- Opciones no costo-efectivas

Cuadro 3.13: Lima-Callao: ahorros en agua por medida, 2015-2030 (en millones de m³).

Ranking	Tipo de estrategia	Medida	Ahorros en millones de m ³ 2015-2030
1	Demanda	Rehabilitación de la red primaria	1.734
2	Oferta	Pomacocha-Río Blanco	1.734
3	Oferta	Reservorio del río Chillón	919
4	Oferta	Recanalización del río Rímac	867
5	Demanda	Inodoros de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares)	793
6	Demanda	Duchas de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares)	649
7	Oferta	Represa del Casacancha junto con Marca III	624
8	Oferta	Desalinización del agua de mar en el sur	520
9	Oferta	Extensión del túnel Gratón	520
10	Oferta	Recarga del acuífero	442
11	Oferta	Reservorio de Autisha	416
12	Demanda	Incremento del 18% de las tarifas residenciales	392
13	Demanda	Incremento del 15% de las tarifas residenciales	327
14	Oferta	Pozos en las cuencas del río Chillón	237
15	Demanda	Caños de bajo caudal en los baños (implementación en un 50% en todos los hogares)	161
16	Demanda	Caños de bajo caudal en las cocinas (implementación en un 50% en todos los hogares)	157
17	Demanda	Reconversión de aguas grises residenciales (50.000 hogares en 2030)	147
18	Oferta	Recarga del acuífero para el río Lurín	139
19	Demanda	Edificios residenciales verdes (25% de nuevas construcciones en el período 2015-2030)	103
20	Demanda	Lavadoras de alta eficiencia (implementación en un 25% en todos los hogares)	71
21	Demanda	Programa de educación para la conservación del agua	52
22	Demanda	Lavaplatos de alta eficiencia (implementación en un 25% en todos los hogares)	51
23	Demanda	Incremento del 18% de las tarifas industriales de agua	42
24	Demanda	Inodoros de aguas grises para hogares (100.000 en 2030)	38
25	Demanda	Incremento del 15% de las tarifas industriales de agua	35
26	Demanda	Incremento del 18% de las tarifas comerciales de agua	28
27	Demanda	Incremento del 15% de las tarifas comerciales de agua	23
28	Demanda	Edificios comerciales verdes (25% de nuevas construcciones en el período 2015-2030)	23
29	Demanda	100% de medición de las unidades con servicio en 2020	15
30	Demanda	Reconversión de aguas grises comerciales (25.000 oficinas en 2030)	12
31	Oferta	Atrapanieblas	3

- Opciones costo-efectivas
- Opciones no costo-efectivas

Cuadro 3.14: Lima-Callao: medidas correspondientes al sector del agua clasificadas por costo efectividad
(en US\$ de 2014 y S/. de 2014 por m³)

Ranking	Tipo de estrategia	Medida	2014 US\$ por m ³	2014 S/. por m ³
1	Demanda	Incremento del 15% de las tarifas comerciales de agua	-7,83	-21,94
2	Demanda	Incremento del 18% de las tarifas comerciales de agua	-7,79	-21,82
3	Demanda	100% de medición de las unidades con servicio en 2020	-1,67	-4,68
4	Demanda	Incremento del 15% de las tarifas residenciales	-1,40	-3,93
5	Demanda	Incremento del 18% de las tarifas residenciales	-1,39	-3,89
6	Demanda	Edificios comerciales verdes (25% de nuevas construcciones en el período 2015-2030)	-0,52	-1,46
7	Demanda	Duchas de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares)	-0,16	-0,46
8	Demanda	Edificios residenciales verdes (25% de nuevas construcciones en el período 2015-2030)	-0,14	-0,40
9	Demanda	Reconversión de aguas grises comerciales (25.000 oficinas en 2030)	-0,08	-0,23
10	Demanda	Inodoros de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares)	-0,05	-0,13
11	Demanda	Rehabilitación de la red primaria	0,03	0,08
12	Demanda	Caños de bajo caudal en las cocinas (implementación en un 50% en todos los hogares)	0,05	0,13
13	Oferta	Reservorio del río Chillón	0,07	0,21
14	Demanda	Reconversión de aguas grises residenciales (50.000 hogares en 2030)	0,08	0,23
15	Oferta	Represa de Casacancha junto con Marca III	0,09	0,24
16	Oferta	Reservorio de Autisha	0,09	0,26
17	Oferta	Pozos en la cuenca del río Chancay (2040)	0,14	0,40
18	Oferta	Pomacocha-Río Blanco	0,15	0,42
19	Demanda	Inodoros de aguas grises para hogares (100.000 en 2030)	0,15	0,42
20	Oferta	Recanalización del río Rímac	0,19	0,52
21	Oferta	Extensión del túnel Graton	0,24	0,68
22	Demanda	Caños de bajo caudal en los baños (implementación en un 50% en todos los hogares)	0,29	0,82
23	Demanda	Incremento del 15% de las tarifas industriales de agua	0,41	1,15
24	Demanda	Incremento del 18% de las tarifas industriales de agua	0,42	1,19
25	Oferta	Desalinización del agua de mar en el sur	0,43	1,22
26	Demanda	Programa de educación para la conservación del agua	0,49	1,39
27	Oferta	Recarga del acuífero para el río Lurín	0,52	1,46
28	Oferta	Atrapanieblas	0,66	1,86
29	Oferta	Recarga del acuífero	0,73	2,04
30	Demanda	Lavadoras de alta eficiencia (implementación en un 25% en todos los hogares)	4,63	12,95
31	Demanda	Lavaplatos de alta eficiencia (implementación en un 25% en todos los hogares)	6,33	17,72

Capítulo 4.

El análisis multicriterio

Introducción

Hasta el momento, en este informe hemos evaluado distintas medidas de mitigación sobre la base de su costo y de su efectividad para reducir las emisiones de carbono. Sin embargo, las decisiones sobre la adopción de las diferentes medidas no pueden tomarse solamente con base en la consideración de estos criterios. La presencia de razones económicas sólidas a veces constituye una condición necesaria, pero nunca debe ser una condición suficiente para la acción. Hay otros factores que también tienen una importancia crucial. Por esta razón, se realizó un análisis multicriterio con el fin de evaluar las medidas de acuerdo con su aceptabilidad política y pública, las capacidades disponibles para su implementación, su contribución al desarrollo humano y sus impactos más amplios en el ambiente. En esta sección describimos cómo se llevó a cabo esta evaluación multicriterio, presentamos los resultados, y señalamos algunas conclusiones y recomendaciones basadas en dichos resultados.

El método

Se identificaron expertos clave de cada sector (de energía, residencial, comercial, de transporte, industrial, de residuos y de agua) gracias a las sugerencias realizadas por miembros del Comité Directivo del proyecto. Se efectuaron entrevistas semiestructuradas a estos expertos (se hicieron aproximadamente tres entrevistas por cada sector) antes de realizar el análisis multicriterio formal. El objetivo de las entrevistas fue obtener opiniones de los expertos sobre los principales resultados de cada opción de mitigación, que fueran de utilidad para guiar el proceso del análisis multicriterio. Los expertos y otras partes interesadas fueron luego invitados a asistir a los talleres de análisis multicriterio. Se organizó un total de siete talleres facilitados, uno por cada uno de los sectores estudiados, en que se contó con contribuciones de 48 partes interesadas provenientes de la academia, las organizaciones no gubernamentales, los gobiernos locales y regionales, las organizaciones internacionales y los expertos internacionales que trabajan en el Perú.

La facilitación de los talleres fue imparcial, y el proceso fue estructurado (Reagan-Cirincione, 1994). Como introducción, a los participantes se les presentaron breves antecedentes sobre el sector correspondiente, seguidos de una descripción de la línea de base y de las principales proyecciones. Se explicaron entonces las metas que se buscaba alcanzar mediante el análisis multicriterio. A continuación se presentaron cada una de las opciones de mitigación. Los participantes recibieron entonces una matriz de desempeño en que las diferentes

opciones de mitigación se agruparon en clústeres. Estos constituyeron las filas de la matriz, mientras que en las columnas se consideraron cinco criterios amplios: aceptabilidad política, aceptabilidad pública, capacidad para la implementación, impactos positivos en el desarrollo humano e impactos positivos en el ambiente.

Posteriormente se pidió a los participantes que asignaran un puntaje de 1 a 5 a cada clúster de opciones (véase el Cuadro 4.1), en que 5 representa el valor máximo, según los niveles prevalecientes de aceptabilidad política y social, capacidad de implementación e impacto positivo en el desarrollo humano o en el medio ambiente. Así, por ejemplo, si los participantes consideraban que un cierto clúster de opciones tiene actualmente el potencial de gozar de alta aceptabilidad política, podían asignarle un puntaje de 5. En contraste, si pensaban que un clúster enfrenta actualmente muchas dificultades para implementarse, podían asignarle un valor de 1. En este sentido, se los instó de manera interactiva a responder preguntas como las siguientes: ¿qué medidas son más aceptables desde el punto de vista de las políticas o del público en las condiciones actuales? ¿Se dispone actualmente de estructuras que puedan contribuir a la implementación de las medidas de mitigación? ¿Piensa usted que las medidas producirán impactos positivos en la calidad de vida o en el medio ambiente?

Luego se solicitó a los participantes que consideraran las potenciales barreras sociales, económicas, políticas y ambientales que deberían enfrentarse en caso de implementarse las opciones de mitigación en las condiciones actuales. Se les pidió que apuntaran los aspectos específicos que, según ellos, deberían tomarse en cuenta en el momento de implementar las medidas. Esos aspectos cruciales para el sector y para las opciones de mitigación se discutieron luego en grupo. Este ejercicio fue útil para confirmar la relevancia de los cinco criterios de evaluación considerados, contextualizar la situación actual de los sectores, e identificar barreras y áreas de oportunidad.

Luego se instruyó a los participantes para que clasificaran las medidas una vez más, pero esta vez considerando que las barreras identificadas previamente durante las discusiones habían sido superadas; es decir, se les solicitó que evaluaran las medidas en el contexto de una situación hipotética en que las condiciones actuales de Lima-Callao hubieran mejorado. Se les preguntó si cambiarían sus puntajes iniciales en caso de darse esas condiciones, y, en caso de obtener una respuesta afirmativa, se les pidió que asignaran nuevos puntajes a los clústeres en relación con los criterios.

Los resultados: ranking de las medidas en las condiciones actuales

Se promediaron los puntajes individuales asignados por los participantes a cada criterio. Luego se calculó el puntaje total de cada clúster de opciones, mediante la adición de todos los puntajes individuales promedio asociados con cada criterio. Finalmente se ordenaron los clústeres de acuerdo con sus puntajes totales. El ranking resultante se presenta en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1: Lima-Callao: ranking de medidas según criterios de evaluación en materia de sostenibilidad¹

Sector	Clúster	Medida	Aceptabilidad política	Aceptabilidad pública	Capacidad de implementación	Impactos en el desarrollo humano	Impactos en el medio ambiente	Ranking en las condiciones actuales
Energía	A	Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del gas natural	4,7	3,7	3,0	<u>2,0</u>	2,3	2
	B	Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del carbón	<u>3,3</u>	<u>2,3</u>	<u>2,7</u>	3,7	<u>1,7</u>	4
	C	Energía eólica	<u>3,3</u>	3,0	<u>2,7</u>	4,0	2,0	3
	D	Energía solar	3,7	3,7	3,7	3,7	2,0	1
Residencial	A	Normas para construcción verde	3,3	2,7	2,9	2,3	<u>1,7</u>	4
	B	Aparatos de alta eficiencia	3,6	3,7	3,1	2,7	2,0	2
	C	Eliminación de luces incandescentes	3,6	3,4	3,1	3,1	3,7	1
	D	Cambio del comportamiento	3,6	3,4	3,4	<u>2,0</u>	2,1	3
	E	Calentadores solares de agua	<u>2,7</u>	<u>2,6</u>	<u>2,6</u>	2,7	2,3	4
Comercial	A	Programa de reconversión de electricidad	3,2	3,2	2,8	3,7	4,0	2
	B	Certificaciones de construcciones verdes	3,2	2,7	2,3	3,3	3,3	4
	C	Calentadores solares de agua	3,0	3,0	2,8	3,3	3,5	3
	D	Alumbrado de calles	3,3	3,5	3,0	3,7	3,7	1

¹ En las primeras cinco columnas del cuadro, los números presentados en letra negrita representan los valores más altos obtenidos por cada criterio de evaluación en cada sector, mientras que los números subrayados representan los valores más bajos. En la última columna se presentan los rankings de los clústeres para cada sector, en que 1 corresponde al puesto más alto.

Sector	Clúster	Medida	Aceptabilidad política	Aceptabilidad pública	Capacidad de implementación	Impactos en el desarrollo humano	Impactos en el medio ambiente	Ranking en las condiciones actuales
Transporte	A	Normas para las emisiones de vehículos	2,7	2,2	2,5	3,0	2,7	5
	B	Biocombustibles	3,2	3,7	3,3	3,0	2,2	2
	C	Tecnologías alternativas (gas natural, híbridos)	3,7	4,3	3,3	3,7	2,2	2
	D	Expansión del metro	2,7	3,4	3,0	4,0	2,0	3
	E	Sistema de buses de tránsito rápido	3,0	<u>2,8</u>	2,2	3,0	3,0	4
	F	Tributo de congestión en el centro de la ciudad	2,2	1,8	<u>1,8</u>	<u>2,8</u>	3,3	6
Residuos	A	Plantas de reciclaje	2,5	2,5	3,0	2,0	2,0	1
	D	Compostaje	2,5	2,5	2,0	2,5	2,5	1
	E	Gestión de relleno sanitario	3,0	<u>2,0</u>	<u>1,5</u>	2,5	2,0	2
Agua	A	Gestión de cuencas de ríos	3,4	3,0	<u>2,4</u>	3,6	4,4	5
	B	Reducción de pérdidas del sistema	3,6	3,4	3,2	3,8	3,0	4
	C	Programa educativo para el ahorro de agua	3,4	3,8	<u>2,4</u>	4,5	4,5	1
	D	Reconversión y uso eficiente del agua	3,4	<u>2,8</u>	2,6	3,3	3,3	9
	E	Incremento de agua subterránea	3,4	3,6	3,4	<u>2,5</u>	<u>2,8</u>	8
	F	Tecnologías alternativas	3,8	3,2	2,8	3,5	<u>2,5</u>	7
	G	Nuevas fuentes de agua superficial	4,4	3,8	3,2	3,3	3,3	2
	H	Mejoras en la calidad y disponibilidad del agua	3,8	3,3	3,0	3,3	3,0	6
	I	Modificación de tarifas	<u>3,0</u>	3,0	3,5	4,0	4,0	3

El sector eléctrico

En la última columna del Cuadro 4.1 puede observarse que, en lo que respecta al sector de electricidad, el clúster con el ranking más alto fue el correspondiente a la energía solar (clúster D), que obtuvo los puntajes más altos en cuanto a aceptabilidad pública y capacidad para su implementación. El clúster A, conformado por la mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del gas natural, obtuvo el segundo lugar, siendo el más aceptado política y públicamente. Sin embargo, alcanzó el puntaje más bajo en relación con los impactos positivos en el desarrollo humano. En contraste, la energía eólica (clúster C) se consideró como la opción de más alto impacto en materia de desarrollo humano, pero la de menor aceptabilidad política, y ocupó, por lo tanto, la tercera posición. El puntaje general más bajo correspondió a la mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del carbón (clúster B), opción a la que le correspondieron la aceptabilidad pública más baja y la capacidad de implementación más baja, y se consideró que producía los mayores impactos negativos en el medio ambiente. Los participantes mencionaron que el carbón no se usa ampliamente para la producción de electricidad en el Perú, pero se utiliza principalmente cuando se experimentan problemas técnicos en la red o cuando hay déficits urgentes que hay que cubrir. Los expertos coincidieron al señalar que las tendencias actuales forzarán a esta fuente de energía a desaparecer en el futuro.

El sector residencial

En cuanto al sector residencial, el clúster C, correspondiente a la eliminación de los focos incandescentes, obtuvo el puntaje más alto. Alcanzó una puntuación alta en la esfera política, así como en lo relativo a los impactos positivos en el desarrollo humano y el medio ambiente. La segunda posición correspondió a los aparatos eficientes en el uso de energía (clúster B), que es la opción más aceptada por el público, si bien tiene impactos negativos en el ambiente. El clúster D, que abarca medidas de cambio de comportamiento, obtuvo el tercer lugar. De acuerdo con los resultados, estas medidas cuentan con la más alta capacidad de implementación, pero contribuyen menos al desarrollo humano. Las últimas dos opciones fueron las normas de construcción verde y los calentadores de agua proveniente de termas solares. Esta última opción obtuvo el puntaje más bajo en términos de aceptabilidad política y pública, así como respecto de la capacidad de implementación. Los participantes mencionaron que la implementación de este tipo de calentadores sería un problema, ya que esta opción usualmente requiere la instalación de la tecnología en los techos. Dado que es habitual que las personas construyan gradualmente pisos adicionales para ampliar sus hogares a medida que se expanden las familias, ello requeriría eliminar las instalaciones. Asimismo, la tecnología apropiada aún no está ampliamente disponible en Lima-Callao.

Cuadro 4.2: Lima-Callao: clústeres que obtuvieron el puntaje más alto en cada criterio de evaluación por sector.

Aceptable políticamente	Aceptable públicamente	Capacidad de implementación	Desarrollo humano	Impacto en el medio ambiente
Gas natural mejor tecnología disponible	Energía solar	Energía solar	Energía eólica	Gas natural mejor tecnología disponible
Eliminación de luces incandescentes	Aparatos de alta eficiencia	Cambio de comportamiento	Eliminación de luces incandescentes	Eliminación de luces incandescentes
Certificaciones de construcciones verdes	Alumbrado de calles	Alumbrado de calles	Alumbrado de calles	Programa de reconversión de electricidad
Expansión del sistema de buses de tránsito rápido	Expansión del sistema de buses de tránsito rápido	Tecnologías alternativas (gas natural, híbridos)	Proyecto de conductor eficiente Campaña de teletrabajo, Bicicletas	Tributo de congestión en el centro de la ciudad
Gestión de rellenos sanitarios	Plantas de reciclaje	Plantas de reciclaje	Compostaje	Compostaje
Nuevas fuentes de agua superficial	Programa de educación para la conservación del agua	Modificación de tarifas	Agua	Gestión de cuencas de ríos

El sector comercial

En el sector comercial, que también comprende el sector público, el clúster que obtuvo el puntaje más alto del ranking fue el relativo al alumbrado de calles. De acuerdo con los resultados, este es el más aceptado por los políticos y el público. También es el que presenta la capacidad más alta de implementación y, según se estima, produce los mayores impactos positivos en el desarrollo humano. El programa de reconversión de electricidad (clúster A) obtuvo el segundo lugar. Los puntajes alcanzados por este clúster muestran que supone los mayores impactos positivos en el medio ambiente. El clúster correspondiente a los calentadores de agua se colocó en tercer lugar. Le correspondió el menor grado de aceptación política y obtuvo un puntaje bajo en relación con los impactos positivos en el desarrollo humano. Las certificaciones de construcciones verdes alcanzaron el último lugar, siendo el clúster con la aceptabilidad pública más baja. Los puntajes también revelan que es el clúster que comprende las medidas más difíciles de implementar, y que produce los impactos positivos más bajos en el desarrollo humano y el medio ambiente.

El sector de transporte

Los participantes del taller sobre transporte ortorgaron al desarrollo del metro y de las líneas del sistema de buses de tránsito rápido (BTR) (clúster C) el puntaje más alto. Las puntuaciones obtenidas por este clúster revelan que es el que tiene más aceptabilidad política y pública. El segundo puesto correspondió a la promoción de automóviles con tecnologías más limpias, como el gas natural (GNC) o los híbridos. De acuerdo con los puntajes, este clúster está integrado por las medidas de más fácil implementación. El clúster D, relativo a los cambios de comportamiento, obtuvo el tercer lugar. Los resultados señalan que proyectos como la conducción eficiente, el teletrabajo y la promoción del uso de bicicletas les corresponden los mayores impactos en el desarrollo humano. El cuarto clúster fue el relativo al reemplazo de combis por ómnibus y al chatarreo de automóviles viejos.

Los participantes destacaron que algunos de los problemas identificados en Lima-Callao se relacionan con la antigüedad del actual parque automotor y la gran cantidad de combis. El penúltimo puesto en el ranking correspondió al clúster A (normas de emisiones para vehículos y promoción de biocombustibles). Los participantes mencionaron que el uso de biocombustibles no solamente es un asunto polémico en cuanto a los beneficios reales para el medio ambiente, sino que, además, las tecnologías disponibles no permiten manejar niveles más altos de biocombustibles en la combinación de combustibles. Al clúster F (tributo de congestión) le correspondió la última posición, ya que es la medida menos aceptada en términos políticos y públicos. También presenta la menor capacidad de implementación, y se considera que produce los menores impactos positivos en el desarrollo humano. Sin embargo, esta medida obtuvo el puntaje más alto en lo que respecta a los impactos positivos en el medio ambiente.

El sector de residuos

En el taller sobre el sector de residuos, dos clústeres ocuparon las primeras posiciones: los correspondientes a las plantas de reciclaje y el compostaje. Se considera que el desarrollo de plantas de reciclaje supone la capacidad más alta de implementación y es sumamente aceptado por el público. Sin embargo, se estimó que la creación de estas plantas conlleva un bajo nivel de aceptabilidad política y que constituye la opción con menores impactos positivos en el desarrollo humano. En contraste, el compostaje logró el puntaje más alto en relación con los impactos positivos en el medio ambiente, y se estima que contribuye en gran medida al desarrollo humano. Se mencionó que el compostaje podría ser una buena manera de restaurar los paisajes áridos de Lima-Callao. Sin embargo, el mercado del compostaje debe desarrollarse y regularse. La gestión de rellenos sanitarios (clúster E) se colocó al final del espectro, aunque a este clúster le correspondió la aceptabilidad política más alta. En lo que refiere a la aceptabilidad pública, la capacidad de implementación y los impactos positivos en el medio ambiente, dicho clúster recibió los puntajes más bajos.

El sector del agua

El agua es el sector en que se presenta el mayor número de clústeres. El clúster de puntaje más alto en este caso fue el C, relativo a los programas educativos para el ahorro de agua. Esta medida obtuvo un puntaje alto en cuanto a la aceptabilidad pública y el puntaje más alto en lo que respecta a los impactos positivos sobre el desarrollo humano y el ambiente. Los participantes mencionaron que elevar la conciencia y promover un verdadero cambio de comportamiento son acciones necesarias. Sin embargo, reconocieron que esto no sería fácil de implementar y, como puede verse, esta medida recibió el puntaje más bajo en lo que refiere a la capacidad de implementación. La medida relativa a hallar nuevas fuentes de agua superficial se colocó en segunda posición. De acuerdo con los resultados, esta medida es la más aceptada en términos políticos, y es sumamente aceptada por el público. De acuerdo con los participantes, la razón probablemente consista en que las medidas orientadas a garantizar un suministro seguro de agua son más fácilmente favorecidas tanto por los políticos como por el público. La tercera posición correspondió a la modificación de tarifas. De acuerdo con los resultados, la elevación de tarifas obtuvo el puntaje más alto respecto de su capacidad de implementación, pero el más bajo en cuanto a la aceptabilidad política. Los participantes mencionaron la necesidad de asignar un valor monetario más alto al agua, aunque esta medida no sea políticamente atractiva.

Esta opción fue seguida de la reducción de pérdidas del sistema y, luego, de la gestión de las cuencas de los ríos, que ocupó el quinto lugar del ranking. Esta medida tuvo un puntaje alto en relación con los impactos positivos en el medio ambiente. Asimismo, si bien supone un potencial importante para el ahorro de agua, obtuvo un puntaje bajo respecto de su capacidad de implementación. Los participantes mencionaron que todavía no hay instituciones capaces de llevar a cabo esta medida, y que se necesita completar varios pasos preliminares para implementarla. Las mejoras de la calidad y la disponibilidad del agua (clúster H) se colocaron en la sexta posición, seguidas de las tecnologías alternativas (clúster F) y del incremento del suministro de agua subterránea. El último lugar correspondió a la reconversión y el uso eficiente del agua (clúster D), opción que presenta la aceptabilidad más baja en la esfera pública.

Capítulo 5.

Plan preliminar de implementación y financiamiento

Introducción

En el estudio se ha resaltado la existencia de un amplio abanico de medidas que podrían adoptarse en Lima-Callao mientras la ciudad se encamina hacia un desarrollo resiliente al clima y bajo en carbono. Muchas de estas opciones podrían implementarse en forma eficiente en términos de costos, puesto que los costos iniciales quedarían ampliamente compensados con los ahorros que se generarían durante el período de su implementación. Sin embargo, a fin de lograr estos ahorros y de obtener las mejoras de la eficiencia energética y del agua que se generarían, se requieren altos niveles de inversión.

En lo que respecta al desarrollo bajo en carbono y al uso eficiente de la energía, sería preciso realizar inversiones por un valor de US\$ 5.100 millones a fin de aprovechar el potencial de las medidas costo efectivas tendientes a reducir el nivel de carbono, en tanto que sería necesario realizar inversiones por un valor de US\$ 12.200 millones para alcanzar el nivel de adopción costo neutral (sin costo neto). Estas inversiones equivalen a invertir el 0,8% y el 1,6% del PBI anual durante 10 diez años, y, así, se sitúan dentro del rango de costos de inversión proyectados en estudios realizados a nivel mundial, como el Informe Stern sobre la economía del cambio climático (Stern, 2007). Si bien hemos demostrado que estas inversiones generarían dinero suficiente para cubrir dichas inversiones en el término de 2,4 y 4,5 años, respectivamente, aun así se necesitarían altos niveles de capital para inversión a fin de lograr la materialización de estos beneficios.

Respecto del desarrollo resiliente al clima y el uso eficiente del agua, se necesitarían inversiones por un valor de US\$ 856.000.000 para implementar todas las medidas aplicables del lado de la oferta para hacer frente a potenciales situaciones de escasez de agua que podrían derivarse del crecimiento de la demanda de este recurso y del riesgo de disminución del suministro de agua debido al cambio climático. En tanto, a efectos de implementar el nivel total de respuesta por el lado de la demanda, se necesitarían inversiones por un valor de US\$ 2.000 millones. En teoría, podría hacerse frente a estas inversiones mediante el aumento de las tarifas de agua que abonan los usuarios formales en un porcentaje que no llegaría al 2% anual durante los próximos 10 años. Ello no quiere decir que las inversiones deberían financiarse de este modo, simplemente se señala que dichas inversiones podrían financiarse de esta manera.

En este capítulo se analizan las diferentes formas en que podrían enfrentarse estas inversiones, mediante nuevos modos de financiamiento y nuevos esquemas de

intervención gubernamental. Así, sobre la base de los resultados de la evaluación económica, de la evaluación multicriterio y de un taller dedicado a tratar cuestiones de implementación y financiamiento, destacamos ciertas áreas clave en que podrían llevarse a cabo acciones tempranas.

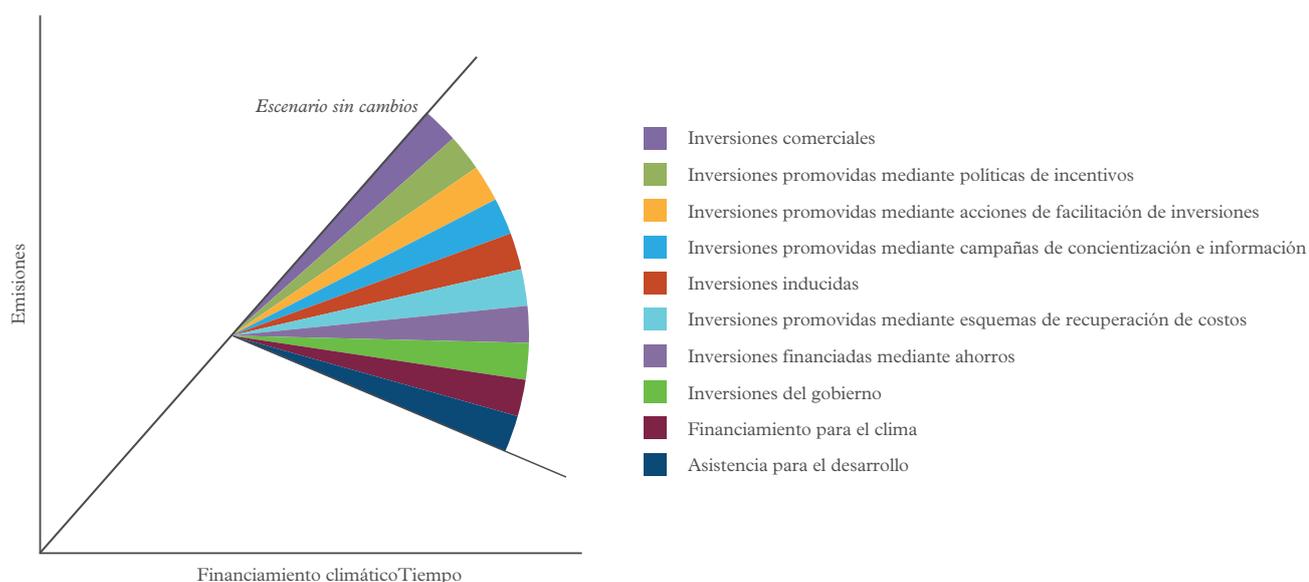
El acceso al financiamiento

Existen numerosos mecanismos para financiar y estimular inversiones en el desarrollo resiliente al clima y bajo en carbono. Tal como se ilustra en el Gráfico 5.1, cada opción podría aportar una parte de la inversión requerida, y es probable que todas las opciones cumplan un rol en la obtención de los niveles de inversión necesarios.

- *Inversiones comerciales.* Una parte significativa de las oportunidades de inversión identificadas para el logro de un desarrollo resiliente al clima y bajo en carbono podrían resultar lo suficientemente atractivas como para garantizar la obtención de inversiones comerciales. Estas inversiones suelen presentar altas tasas de rentabilidad, períodos cortos de retorno y bajos niveles de riesgo e incertidumbre, entre otras características.
- *Inversiones promovidas mediante políticas de incentivos.* En caso de que los criterios no resulten lo suficientemente atractivos para las inversiones comerciales, el gobierno puede intervenir en forma transitoria a fin de ofrecer incentivos adicionales para las inversiones comerciales. Estos incentivos pueden consistir, por ejemplo, en subsidios a las tarifas de energías renovables y en exenciones impositivas para la compra de vehículos más eficientes.
- *Inversiones promovidas mediante campañas de concientización e información.* Además de brindar incentivos adicionales, el gobierno y demás actores pueden contribuir a la promoción de las inversiones mediante el desarrollo de campañas de concientización y del acceso a la información. Estas acciones tendientes a lograr una mayor concientización pueden consistir, por ejemplo, en campañas de información pública, iniciativas tales como el etiquetado de vehículos y de edificios para indicar el consumo energético y el tipo de energía consumida, y programas de garantía de calidad que reconozcan, por ejemplo, a proveedores o tecnologías específicos que cumplan con diferentes criterios.

- *Inversiones promovidas mediante acciones de facilitación de inversiones.* El gobierno y demás actores, tales como las cámaras de comercio, también pueden contribuir a la generación de condiciones que faciliten la inversión. Pueden hacerlo, por ejemplo, mediante el apoyo de estudios de factibilidad, la realización de pruebas piloto, el desarrollo de capacidades técnicas y la facilitación del establecimiento de cadenas y redes de suministro. También pueden promover tales condiciones al minimizar los riesgos; por ejemplo, mediante el establecimiento de objetivos de política claros y estables, o convirtiéndose en los principales compradores de determinadas tecnologías.
- *Inversiones inducida.* El gobierno también puede requerir a los diferentes actores que inviertan en ciertas opciones. Los gobiernos pueden exigir que las nuevas construcciones cumplan con mayores niveles de eficiencia en el uso del agua y la energía, o que los nuevos vehículos se ajusten a límites de emisiones más estrictos. Al adoptar dichos estándares, el gobierno obliga a los proveedores a brindar, y a los compradores a adquirir, alternativas que, si bien resultan un poco más onerosas a corto plazo, permiten recuperar los eventuales costos adicionales con facilidad durante la vigencia de las medidas.
- *Inversiones estimuladas mediante esquemas de recuperación de costos.* Los gobiernos también pueden lograr que ciertas formas de inversión resulten viables mediante la implementación de diferentes mecanismos de recuperación de costos. Las inversiones en empresas de servicios públicos estatales o reguladas dedicadas al suministro de agua o de electricidad pueden tornarse viables mediante esquemas de determinación de precios basados en costos y en márgenes de utilidades. Los desarrollos de infraestructura pueden financiarse mediante iniciativas tales como el aumento de impuestos (en que los costos iniciales se pagan con los incrementos de la recaudación impositiva que generan), o por medio de los beneficios aportados por las empresas encargadas de desarrollar las nuevas infraestructuras (en cuyo caso los permisos de construcción se otorgan con la condición de que se proporcione nueva infraestructura). Otras inversiones –por ejemplo, en zonas urbanas definidas en que el acceso vehicular requiere un pago– pueden autofinanciarse en el tiempo mediante los ingresos que generan.
- *Inversiones financiadas mediante ahorros.* Algunas formas de inversión pueden financiarse a través de los ahorros que generan. Este modelo ha sido

Gráfico 5.1: Lima-Callao: diagrama conceptual sobre el modo en que las diferentes formas de inversión pueden contribuir a la reducción de emisiones a lo largo del tiempo a a nivel de una ciudad.



Fuente: Elaboración propia.

la base de las empresas de servicios energéticos y de los planes de modernización que financian inversiones en eficiencia energética a partir de los ahorros que estas inversiones generan, y que dichos planes obtienen y utilizan para cancelar préstamos y efectuar reinversiones.

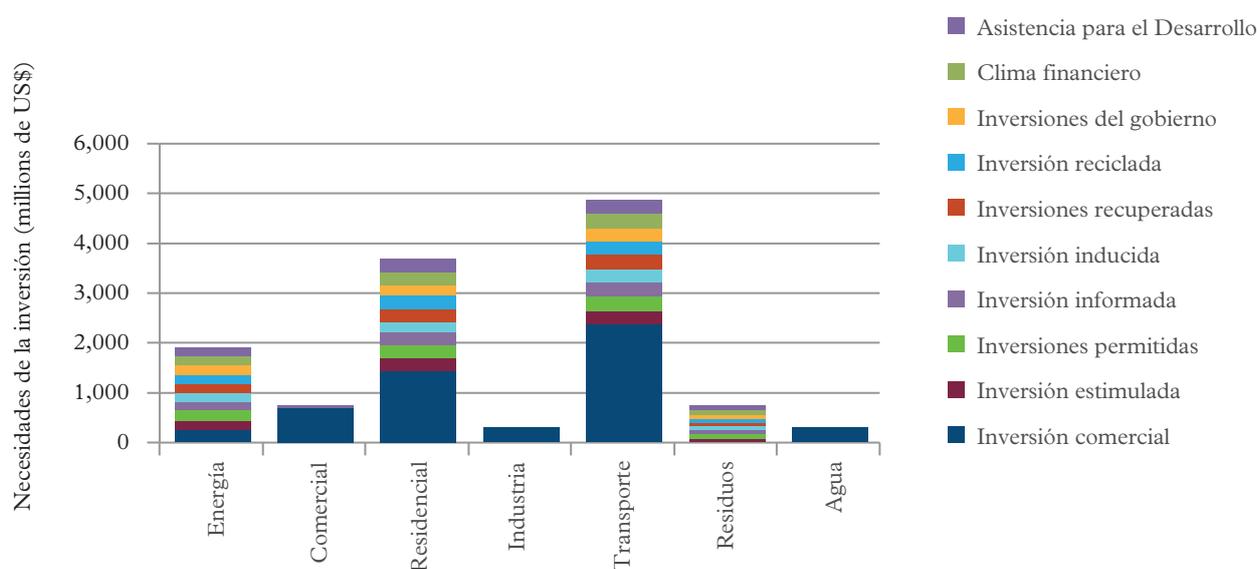
- *Inversiones del gobierno.* Puesto que el sector público suele utilizar, controlar o tener la propiedad de grandes extensiones de tierra, los gobiernos tienen un margen considerable para invertir en la mejora de su propia eficiencia en el uso del agua o la energía. Mediante sus políticas de adquisiciones, los gobiernos también pueden constituirse en clientes clave para otras inversiones; por ejemplo, al garantizar un mercado para una parte de las energías renovables o para determinadas tecnologías.
- *Asistencia para el desarrollo.* Los organismos que aportan recursos para el desarrollo multilateral o bilateral procuran cada vez más promover medidas que sean compatibles, por ejemplo, con los objetivos del crecimiento verde inclusivo (entre otros, el Banco Interamericano de Desarrollo y el Banco Mundial) y del desarrollo compatible con el clima (por ejemplo, UK Aid). Dichas fuentes de asistencia para el desarrollo podrían financiar las inversiones en medidas bajas en carbono y resilientes al clima que proporcionen mayores beneficios para el desarrollo y que no se financiarían con recursos del sector privado.

— *Financiamiento climático.* Ciertas formas de desarrollo bajo en carbono han recibido apoyo a través del ya mencionado MDL, los mecanismos de implementación conjunta y los mercados voluntarios de carbono. A partir de los compromisos asumidos durante las negociaciones sobre el clima promovidas por las Naciones Unidas, y mediante iniciativas tales como el Fondo Internacional para el Clima, están surgiendo nuevas formas de financiamiento climático basadas en las NAMA y en los programas nacionales de acción para la adaptación (NAPA).

Las necesidades y las opciones de inversión en Lima-Callao

Nuestro análisis muestra que las necesidades y las oportunidades de inversión se distribuyen entre los distintos sectores de Lima-Callao en distintas proporciones, tanto en términos de los requerimientos totales de inversión como en lo que respecta a la proporción de dichos requerimientos que resulta atractiva desde un punto de vista comercial. En el Gráfico 5.2 se presentan las necesidades de inversión para el aprovechamiento de las medidas costo-efectivas por sector (todas en color azul) y las necesidades de inversión correspondientes a las alternativas costo-neutrales. Puesto que se desconoce cuánto podría aportar cada opción de financiamiento, hemos dividido los requerimientos de inversión entre todas las demás alternativas de financiamiento en forma equitativa.

Gráfico 5.2: Lima-Callao: necesidades de inversión por sector y posibles fuentes de inversión (en millones de US\$).



Fuente: Elaboración propia.

En el taller organizado para desarrollar un plan preliminar de implementación y financiamiento se tuvieron en cuenta las opciones de financiamiento para cada sector de Lima-Callao. A continuación se incluye un resumen de los principales puntos identificados con relación a cada sector:

- Los proyectos relativos al suministro de *agua* pueden centrarse tanto en la oferta como en la demanda. Las inversiones centradas en la oferta podrían financiarse mediante préstamos externos, alianzas público-privadas, concesiones, o por medio de pagos por servicios ecosistémicos. Las inversiones orientadas a la demanda podrían financiarse mediante inversiones privadas sujetas a esquemas de incentivos, y por medio de la facturación progresiva a consumidores por el suministro de agua.
- Con respecto al sector de tratamiento de *residuos*, algunas medidas pueden implementarse a través de acuerdos suscritos entre los gobiernos municipales y las empresas de tratamiento de residuos. Sin embargo, ello llevará tiempo y dependerá de los acuerdos y los cronogramas contractuales. En este sector también es posible constituir alianzas público-privadas.
- Los sectores de *energía e industria* podrían financiar las inversiones a través de fondos provenientes de los mercados de carbono, del financiamiento de carbono (por ejemplo, las NAMA), y del apoyo del sector privado (incluido el capital de riesgo) y del sector público. También podría recurrirse a regulaciones para promover o incentivar las inversiones (por ejemplo, en energía solar).
- Con respecto al *sector de transporte*, ya se cuenta con apoyo financiero para desarrollar una serie de medidas eficientes en términos de costos (por ejemplo, los taxis tienen acceso al financiamiento para la sustitución de combustibles). Sin embargo, se necesitan más incentivos (por ejemplo, para promover la introducción de vehículos híbridos). También se podría recurrir a medidas tributarias para alentar el mayor uso de alternativas bajas en carbono. Para la implementación de la red de subterráneos ya se está recurriendo a alianzas público-privadas. Por su parte, las NAMA podrían proporcionar apoyo financiero para implementar ciertas alternativas en materia de transporte público.
- En los *sectores residencial y comercial* ya se cuenta con un abanico de opciones de financiamiento. Por ejemplo, en el Perú los bancos han proporcionado financiamiento para la instalación

de calentadores de agua a través de termas solares. Con respecto a otras formas de energías renovables, podrían proporcionarse incentivos a los hogares mediante pagos por producir energía verde que luego se venda nuevamente a la red de distribución. También podría recurrirse a incentivos fiscales para promover la generación de energía renovable en los hogares. Asimismo, los bancos podrían otorgar financiamiento para proyectos de eficiencia energética en el sector residencial. Sin embargo, es posible que se necesite desarrollar estos proyectos y darlos a conocer en Lima-Callao. La adopción obligatoria o voluntaria de normas de construcción verde también podría suponer mayores inversiones inducidas, y el sector público podría impulsar el desarrollo del mercado mediante la compra directa de energías renovables.

Cómo superar las barreras que dificultan la implementación de las medidas

En la evaluación multicriterio y en los talleres de implementación y financiamiento también se identificaron una serie de barreras clave que se necesita superar para crear las condiciones que faciliten un desarrollo resiliente al clima y bajo en carbono. Estas barreras pueden clasificarse de la siguiente manera:

- *Sociales*. Se producen cuando existe falta de confianza o de aceptación por parte de la sociedad respecto de determinadas medidas o enfoques, además de falta de conocimiento técnico en la fuerza laboral, que impiden la implementación de una medida en particular.
- *Políticas*. Se producen cuando hay falta de visión o de objetivos estratégicos, o bien falta de regulaciones o de su aplicación.
- *Tecnológicas*. Se producen cuando falta una infraestructura adecuada (por ejemplo, una red inteligente) o cuando no se dispone del conocimiento sobre alguna tecnología en particular, o en los casos en que las tecnologías disponibles no resultan aplicables en el entorno propuesto.
- *Financieras*. Se producen cuando resulta difícil o imposible disponer de suficiente financiamiento debido a los altos niveles de riesgo o los bajos niveles de conocimiento.
- *Institucionales*. Se producen cuando existe falta o ausencia de la infraestructura de soporte necesaria para permitir la implementación de un proyecto.

En el Anexo G se presenta un resumen de las barreras clave y de los cambios requeridos por sector. Sobre la base de estas conclusiones, proponemos a continuación las siguientes áreas prioritarias que podrían contribuir a la superación de estas barreras y al desarrollo de la confianza y del impulso necesarios, a fin de generar así una retroalimentación positiva y una mayor consolidación de la capacidad para el logro de un desarrollo resiliente al clima y bajo en carbono en Lima-Callao:

- 1) *Estudios de factibilidad subsidiados* sobre las medidas con alto potencial que actualmente no son bien entendidas por actores clave y que ayuden a generar apoyo para las nuevas medidas. Entre los organismos que podrían promover o llevar a cabo estos estudios se encuentran los bancos de desarrollo, los gobiernos nacionales o municipales, el sector privado, el mundo académico o las organizaciones no gubernamentales.
- 2) *Esquemas demostrativos comerciales*, que permitirían que la comunidad de inversores y otras partes interesadas ganen confianza y experiencia con relación a nuevas formas de financiamiento de medidas eficientes en términos de costos para la reducción de los niveles de carbono.
- 3) *Talleres sobre políticas para gobiernos nacionales y municipales* que permitan identificar nuevos enfoques en materia de políticas e instrumentos, y construir las capacidades institucionales necesarias para facilitar la implementación de políticas en materia de resiliencia al clima y reducción de los niveles de carbono.
- 4) *Campañas educativas* orientadas a alentar cambios de comportamiento y la conversión hacia alternativas resilientes al clima con menores emisiones de carbono.

Cuadro 5.1: Lima-Callao: ranking de las diez medidas más atractivas¹ en materia de reducción de gases de efecto invernadero clasificadas según costo-efectividad (US\$/tCO₂), eficiencia en la reducción de emisiones de carbono (tCO₂ evitadas), evaluación multicriterio por sector².

Sectore	Medida	Ranking de eficiencia en términos costo-efectivas	Ranking de eficiencia en términos de reducción de emisiones de carbono	Ranking del análisis multicriterio por sector	Ranking
Transporte	Reemplazo de combis por ómnibus	4	4	4	1
Residencial	Eliminación de luces incandescentes y 50% de iluminación basada en LED en 2020	18	6	1	2
Energía eléctrica	2.000 MW de energía geotérmica (reemplaza al gas natural)*	57	1	--	3
Residencial	Reemplazo de gas licuado de petróleo por gas natural: 50% de los hogares conectados en 2020 (860.000 conexiones)*	1	61	--	4
Transporte	Conversión de taxis a gasolina a gas natural comprimido	3	33	2	5
Residencial	Eliminación de luces incandescentes	14	15	1	6
Energía eléctrica	1.000 MW de energía geotérmica (reemplaza al gas natural)*	56	2	--	7
Transporte	Sistema de buses de tránsito rápido	22	17	1	8
Transporte	Campaña de teletrabajo	2	68	3	9
Transporte	Tributo de congestión para automóviles particulares a gasolina y a diésel	33	3	6	10

¹ Todos los sectores fueron considerados en la evaluación realizada para establecer los diferentes rankings presentados en este cuadro.

² Los criterios de calificación pueden consultarse en el Anexo F. Además, cabe aclarar que el sector industrial no se incluyó en la evaluación multicriterio y que algunas medidas se agruparon. En los casos en que fue posible, a estas medidas se les asignó el valor de una medida comparable, o bien se les otorgó un puntaje de 0,5 en el análisis multicriterio (medidas marcadas con un asterisco (*)).

La identificación de las áreas de mitigación prioritarias en Lima-Callao

En función de lo anterior, hemos intentado identificar aquellas medidas que son, a su vez, eficientes en términos de costos y eficaces para reducir las emisiones de carbono; que responden mejor ante criterios más amplios, tales como la aceptación social y política, y que cuentan con las mejores condiciones para su implementación. Tal como se ilustra en el Anexo F, hemos llevado a cabo esta tarea mediante el establecimiento de rankings para evaluar cada medida según su eficiencia en términos de reducción de las emisiones de carbono, su eficiencia en términos de costos y su resultado en la evaluación multicriterio. Luego, estos rankings fueron combinados a fin de elaborar un ranking general de las medidas.

En el Cuadro 5.1 se muestran las diez medidas más atractivas que aparentemente han tenido un buen desempeño al ser evaluadas según estos criterios. Un número significativo de estas opciones son medidas relativas al sector de transporte, puesto que, en general, estas suelen tener un buen desempeño en cuanto a su eficiencia en materia de costos y en la evaluación multicriterio. Otros sectores representados comprenden el sector residencial y el de energía eléctrica, en que se incluyen medidas relativas a la eliminación de la iluminación de tipo incandescente y a la adopción de la energía geotérmica. En el Cuadro 5.2 se presentan las dos medidas con mejor desempeño por sector.

Cuadro 5.2: Lima-Callao: ranking de las dos medidas más atractivas por sector en materia de reducción de gases de efecto invernadero clasificadas según costo-efectividad (US\$/tCO₂), eficiencia en la reducción de emisiones de carbono (tCO₂ evitadas), evaluación multicriterio por sector.

Sectore	Medida	Ranking de eficiencia en términos de costo efectividad	Ranking de eficiencia en términos de reducción de emisiones de carbono	Ranking del análisis multicriterio por sector	Ranking general
Transporte	Reemplazo de combis por ómnibus	4	4	4	1
Residencial	Eliminación de luces incandescentes y 50% de iluminación basada en LED en 2020	18	6	1	2
Energía eléctrica	2.000 MW de energía geotérmica (reemplaza al gas natural)*	57	1	--	3
Residencial	Reemplazo de gas licuado de petróleo por gas natural: 50% de los hogares conectados en 2020 (860.000 conexiones)*	1	61	--	4
Transporte	Conversión de taxis a gasolina a gas natural	3	33	2	5
Energía eléctrica	1.000 MW de energía geotérmica (reemplaza al gas natural)*	56	2	--	7
Comercial	Conversión térmica (gas natural, gas licuado de petróleo, diésel, gasolina) en edificios	8	28	2	11
Comercial	Agua caliente en el sector comercial proveniente de termas solares	43	16	1	13
Industria	Conservación de electricidad en otros sectores industriales*	36	9	--	15
Industria	Cambio de calderas que pasan a utilizar gas natural*	35	12	--	21
Residuos	Uso de residuos para generación de energía eléctrica (1.000 t por día)*	46	11	--	23
Residuos	Incineración de lodo de la planta de aguas residuales de Taboada para producir energía*	60	10	--	26

¹ Los criterios de calificación pueden consultarse en el Anexo F. Además, cabe aclarar que el sector industrial no se incluyó en la evaluación multicriterio y que algunas medidas se agruparon. En los casos en que fue posible, a estas medidas se les asignó el valor de una medida comparable, o bien se les otorgó un puntaje de 0,5 en el análisis multicriterio (marcadas con un asterisco (*)).

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al agua, hemos realizado una evaluación similar a fin de establecer los rankings según la eficiencia en el ahorro de agua, la eficiencia en términos de costos y los resultados de la evaluación multicriterio de cada una de las medidas. Los resultados de este análisis se incluyen en el Cuadro F2 del Anexo F. La medida que encabeza el ranking es la rehabilitación de la red primaria, que registró un puntaje alto en términos de ahorro de agua y en el análisis multicriterio, y también obtuvo un puntaje relativamente alto en el ranking de eficiencia en términos de costos. Las otras diez medidas identificadas con mayor puntaje pueden clasificarse en términos generales como: medidas

relativas a la oferta que incrementan la cantidad de agua que ingresa a Lima-Callao, medidas relativas a las tarifas correspondientes a los sectores comercial y residencial, y medidas relativas a la medición de agua. A efectos de hacer frente a la potencial escasez de agua en Lima-Callao, es necesario implementar un número significativo de medidas de este conjunto de opciones. Además, dado que es probable que SEDAPAL, la empresa de suministro de agua más importante de Lima-Callao, implemente la mayoría de las medidas relativas a la oferta, recomendamos la implementación de un NAPA para la ciudad, a efectos de alentar una mejor distribución y gestión del agua por el lado de la demanda.

Cuadro 5.3: Lima-Callao: ranking de las diez medidas más atractivas en materia de uso del agua¹ clasificadas según eficiencia en el uso de agua (en millones de m³ ahorrados), costo-efectividad (en US\$/m³) y evaluación multicriterio por sector².

Tipo de estrategia	Medida	Ranking de eficiencia en el uso de agua	Ranking de eficiencia en términos de costo-efectividad	Ranking del análisis multicriterio por sector	Ranking general
Demanda	Rehabilitación de la red primaria	1	11	4	1
Oferta	Pomacocha-Río Blanco	2	18	2	2
Oferta	Reservorio del río Chillón	3	13	2	3
Demanda	15% de incremento de las tarifas de agua del sector comercial	27	1	3	4
Demanda	18% de incremento de las tarifas de agua del sector comercial	26	2	3	5
Demanda	15% de incremento de las tarifas de agua del sector residencial	13	4	3	6
Oferta	Recanalización del río Rímac	4	20	2	7
Demanda	18% de incremento de las tarifas de agua del sector residencial	12	5	3	8
Oferta	Represa de Casacancha junto con Marca III	7	15	2	9
Demanda	100% de medición de las unidades con servicio en 2020	29	3	4	10

¹ En la evaluación realizada para elaborar los diferentes rankings de eficiencia y de costo-efectividad se han considerado tanto la oferta como la demanda.

² Los criterios de calificación pueden consultarse en el Anexo F. Además, cabe aclarar que algunas medidas se agruparon en la evaluación multicriterio.

Fuente: Elaboración propia.

Sobre la base de estas conclusiones, identificamos las siguientes acciones prioritarias para la mitigación de los GEI y la gestión del agua en Lima-Callao:

- 1) *Implementación de una NAMA en materia de transporte* para el aprovechamiento de las medidas relativas al sector de transporte que fueron identificadas como atractivas al considerar la totalidad de los criterios. Ello constituiría una forma efectiva de reducir las emisiones de manera coordinada en el sector responsable de generar la mayor proporción de emisiones.

Esta medida podría constituir el soporte para la implementación de las medidas que han obtenido los siguientes puntajes en los rankings de atractivo: 1, 5, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 27, 30, 40, 54 y 60.

- 2) *Implementación de un NAPA en materia agua*, a efectos de promover la eficiencia en el uso del agua en toda la ciudad. Ello impulsaría la adopción de medidas relativas a la gestión del agua tanto en el sector residencial como en los sectores público y privado, que resultarían beneficiosas desde el punto de vista social, y eficientes en términos de costos.

- 3) *Normas para construcciones ecológicas*. Podrían desarrollarse y promoverse para permitir que se implementen en forma efectiva las medidas relativas al uso eficiente del agua y de la energía en los sectores comercial y residencial.

Esta acción podría constituir el soporte para la implementación de aquellas medidas que han obtenido los siguientes puntajes en los rankings de atractivo: 19 y 71. En forma indirecta, ello también constituye un soporte para el desarrollo de las medidas que han obtenido las siguientes puntuaciones: 2, 4, 6, 9, 22, 31, 35, 36, 38, 39, 42, 44, 46, 48, 56, 57, 62, 64-70, 72, 74, 77 y 78.

- 4) *Normas para la eficiencia de los vehículos*. Podrían adoptarse y promoverse para reducir las emisiones generadas por los diferentes tipos de vehículos que circulan en Lima-Callao.

Se parte del supuesto de que esta medida constituye parte de la línea de base de la región.

- 5) *Programa para el uso eficiente del agua y la energía en el sector público*. Podría adoptarse y promoverse para demostrar el liderazgo del sector público en esta materia, y para permitir que se exhiban medidas que generarían beneficios económicos y ambientales en este sector. Este programa podría cubrir una amplia gama de actividades del sector público (incluidas las construcciones, la gestión de los residuos, los vehículos y los espacios verdes, entre otras).

Esta acción podría constituir el soporte para la implementación de medidas que han obtenido los siguientes puntajes en el ranking de atractivo: 19, 28, 38, 43, 50 y 53.

También podría implementarse (junto con información y ejemplos propios del sector) para alentar a los sectores comercial e industrial a emprender el proceso de cambio por medio de la puesta en marcha de las siguientes medidas, entre otras: 11, 13, 15, 19, 21, 22, 33, 37, 38, 41 y 45.

- 6) Promoción y facilitación del *uso de una energía más verde (tanto a gran escala como a pequeña escala)*.

Esta medida podría constituir el soporte para la implementación de aquellas medidas con los siguientes puntajes en el ranking de atractivo: 3, 4, 7, 17, 18, 19, 20, 24, 25, 36, 38, 44, 52, 55, 61, 71, 73 y 76.

- 7) *Regulación en materia de eliminación de luces incandescentes*. Esta medida podría constituir el soporte para la implementación de aquellas medidas con los siguientes puntajes en el ranking de atractivo: 2 y 6.

Capítulo 6.

Análisis, conclusiones y recomendaciones

Desde una perspectiva climática, el análisis presentado en este informe sugiere que Lima-Callao puede reducir sus emisiones de carbono en un 30%, en comparación con el escenario sin cambios, mediante el aprovechamiento del abanico de medidas costo-neutrales y costos eficientes. La reducción de las emisiones en este porcentaje es altamente viable. Las alternativas en materia de tecnología y de comportamiento identificadas en esta investigación están disponibles en la actualidad; los ahorros en materia económica y energética son claros, y se basan en estimaciones conservadoras; las inversiones exhiben rentabilidades económicas reales y períodos de repago factibles; y los supuestos en materia de costos, tasas de implementación e impactos han sido analizados por comités de partes interesadas y grupos focales, y han sido sometidos a un proceso formal de revisión, tras lo cual se ha concluido que son realistas y realizables.

Las tasas de rentabilidad económica de estas inversiones podrían ser muy significativas. Numerosas medidas se repagarían en plazos breves y a tasas de interés competitivas. Las medidas que hemos sugerido cuentan con el potencial para modificar en forma significativa los niveles de uso de energía, los gastos en el servicio de energía y las emisiones de carbono en el área de Lima-Callao.

No obstante, la presencia de razones económicas sólidas debería constituir una condición necesaria, pero nunca debería ser una condición suficiente para emprender el proceso de cambio. La implementación de las medidas necesita complementarse con voluntad política, apoyo social y capacidades institucionales, y es de una importancia crítica que toda inversión que se lleve a cabo sea además sostenible en el tiempo. Al otorgar puntajes a las medidas y a los grupos de medidas según estos criterios más amplios, algunas de las opciones parecen atractivas desde el punto de vista político, social, institucional y ambiental, aun bajo las actuales condiciones.

Reconocemos que la implementación de toda medida o de todo conjunto de medidas en particular requerirá un análisis financiero más exhaustivo que el que hemos podido brindar. Más importante aún, al adoptarse cada una de las medidas deberán considerarse sus efectos sobre los diferentes grupos socioeconómicos, y sus implicancias sobre otras cuestiones relativas a la sostenibilidad. Si las iniciativas se diseñan y se implementan en la forma correcta, existe un claro potencial para que las inversiones brinden otros beneficios relacionados de importancia, tales como beneficiar a las comunidades más postergadas, mejorar la calidad del aire y la salud pública, promover el desarrollo del empleo y la economía, mejorar el acceso a la energía y su seguridad, y mejorar la calidad de vida en Lima-Callao.

Sin embargo, la transición requiere de capital político, social y financiero. Los niveles de aspiración, previsión y actividad necesarios para el aprovechamiento de las oportunidades disponibles son considerables. A fin de permitir el aprovechamiento de las medidas, se necesitan nuevos modelos de inversión y financiamiento. Es probable que la promoción de la oferta y la demanda de inversiones en medidas resilientes al clima con bajo nivel de carbono requiera de nuevas formas de recuperación de costos y de distribución de los beneficios, así como también de nuevos enfoques en materia de gestión de riesgos. Además, es probable que se requiera un grado considerable de desarrollo de capacidades en el nivel institucional a fin de que sea posible la implementación de numerosas de estas medidas, en especial de las que requieren de financiamiento del sector público o de un entorno conformado por políticas que faciliten la inversión.

Naturalmente, es posible que este informe no brinde una lista completa de las medidas relativas al uso eficiente del agua y de la energía. Nuevas medidas podrían contribuir al logro de una transición baja en costos, y a la consecución de una economía resiliente al clima con bajos niveles de carbono, lo que permitiría una mayor o más profunda descarbonación de Lima-Callao a partir de 2030.

Fundamentalmente, deberíamos reconocer que la ciencia económica no es la única disciplina por la que debe regirse la transición hacia una economía y una sociedad con bajos niveles de carbono. En el análisis multicriterio presentado en este informe se consideran cuestiones relativas a la aceptabilidad social y política, así como también cuestiones vinculadas con la equidad social y la mayor sostenibilidad de caminos alternativos conducentes a una economía y una sociedad con bajos niveles de carbono. En dicho análisis se subraya que es preciso contar con apoyo internacional y con liderazgo del gobierno, así como contemplar una mayor coordinación entre los distintos sectores en el diseño de las políticas, realizar una mejor evaluación del impacto ambiental, alcanzar una mejor aplicación de la normativa legal, promover un mayor compromiso de las partes interesadas e impulsar una mayor concientización de la sociedad.

Por último, destacamos que este proyecto se llevó a cabo paralelamente a otros proyectos centrados en la huella de carbono actual y en la estrategia futura en materia de reducción de emisiones de Lima-Callao. Para que en esta ciudad se logren claros avances en materia de reducción de las emisiones, se necesita implementar una metodología de contabilización detallada en la ciudad, y se requiere mejorar la disponibilidad de datos para permitir comparar en forma clara y consistente la evolución de las emisiones en toda el área de Lima-Callao.

Anexos

Anexo A: Los participantes

En el Cuadro A1 se presenta una lista de las organizaciones que fueron consultadas a fin de desarrollar la línea de base.

Cuadro A1: Organizaciones consultadas para desarrollar la línea de base.

Organización	Papel/Participación
Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL)	Empresa de agua de Lima-Callao suministra agua a la mayor parte de la ciudad. Proveyó datos relevantes sobre agua.
Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)	Tomó el liderazgo en el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero en el país.
Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)	Tomó el liderazgo en el monitoreo de la huella de agua en el país.
Universidad del Pacífico	Proveyó asistencia sobre pronósticos relativos al producto bruto interno y la población (Bruno Seminario)
Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM)	Brindó asistencia para la revisión de la línea de base de gases de efecto invernadero, y sugirió fuentes de datos adicionales.
Ministerio de Energía y Mina	Brindó datos relevantes sobre electricidad
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)	Proveyó asistencia para la revisión de la línea de base de gases de efecto invernadero y sugirió fuentes de datos adicionales.
Programa de Gobierno Regional de Lima Metropolitana (PGRLM)/Municipalidad Metropolitana de Lima-Callao	Proveyó datos relevantes sobre residuos sólidos y transporte.
Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN)	Proveyó asistencia con relación a datos sobre electricidad y precios de combustibles.
Planificación ante el Cambio Climático (PlanCC)	Comparó la proyección de emisiones de PlanCC para el Perú hasta el año 2050 con la nuestra hasta 2030.
Huella-Servicios Ambientales	Consultora que realiza trabajos sobre proyectos de huella de carbono en Lima-Callao, así como en La Paz y Quito.
Proyecto LiWa	Proveyó asistencia con relación a datos y escenarios sobre agua. ¹
Agencia de Promoción de la Inversión Privada (ProInversión)	Organismo gubernamental que trabaja en proyectos de inversión pública en el Perú.

¹ Un estudio detallado previo sobre la oferta y la demanda futuras de agua en Lima-Callao puede consultarse en línea. Disponible: <<http://www.lima-water.de/index.html>>.

Asimismo, se realizó una serie de entrevistas y talleres a lo largo del estudio. En el Cuadro A2 se presenta una lista en que se mencionan los participantes y sus organizaciones de pertenencia.

Cuadro A2: Participantes en los talleres y organizaciones de pertenencia.

Nombre	Rol	Organización
Dirk ten Brink	Profesional	Autoridad Nacional del Agua
Fernando Chiock	Responsable del Área de Evaluación de Recursos Hídricos	Autoridad Nacional del Agua
Janet Quevedo Soldevilla	Especialista Secretaría General	Autoridad Nacional del Agua
María del Pilar Acha	Especialista Secretaría General	Autoridad Nacional del Agua
Nancy Tello de la Cruz	Especialista en cooperación internacional	Autoridad Nacional del Agua
Víctor Guevara	Secretario ejecutivo	Aquafondo
Peter Davis	Director técnico	Asociación de Representantes Automotrices del Perú
Jaime Fernández-Baca	Especialista en cambio climático	Banco Interamericano de Desarrollo
Dante Lagatta	Tratamiento de cuestiones relativas a la energía	Biopower
Luis Yamada	Presidente del Comité de Construcción Sostenible	Cámara Peruana de la Construcción
Álvaro Freddy Apaza Ríos	Consultor	Centro de Conservación de Energía y del Ambiente
Jorge Aguinaga Díaz	Gerente general	Centro de Conservación de Energía y del Ambiente
José Mesa Segura	Consultor	Centro de Conservación de Energía y del Ambiente
Denisse Cotrina	Carbono y ecoeficiencia	Centro de Ecoeficiencia y Responsabilidad Social, Grupo GEA
Mariana Alegre	Coordinadora general	Lima Cómo Vamos
Eduardo Neira	Especialista	Foro Ciudades para la Vida
Ana Acevedo	Especialista	Fomento de la Vida-FOVIDA
Alfonso Flórez	Gerente	Fundación Transitemos
Jorge Vega	Especialista	Fundación Transitemos
Augusto Gutiérrez Zuzunaga	Gerente de proyecto	Generación & Gestión (G&G)/ARUP
Jimmy Mendoza	Especialista	Gerencia de Transporte Urbano de la Municipalidad Metropolitana de Lima
Gianina Nuñez	Responsable de inversión	Corporación Financiera Internacional
Inés Gutiérrez	Responsable asociado de Operaciones	Corporación Financiera Internacional

Nombre	Rol	Organización
Aditi Maheshwari	Responsable de políticas de cambio climático	Corporación Financiera Internacional
Dulia Aráoz	Consultor	IPES
Alejandra Sota	Consultor	Libélula
Alfonso Córdova	Especialista	Ministerio del Ambiente del Perú
Jaime A. Cabrera V.	Especialista en cooperación internacional	Ministerio del Ambiente del Perú
Julio Apaza	Asesor especialista	Ministerio de Energía y Minas del Perú, Dirección General de Electricidad
Cecilia Castro	Asesora subgerencial de medio ambiente	Municipalidad Metropolitana de Lima
Jenny Quijano	Ingeniero II	Municipalidad Metropolitana de Lima
Rodolfo Bracamonte	Consultor	Municipalidad Metropolitana de Lima
Guisselle Castillo	Especialista en cambio climático	Municipalidad Metropolitana de Lima
Kibutz Agui	Especialista	Municipalidad Metropolitana de Lima
Jan Janssen	Consultor	NIRAS
Claudia Monsalve	Directora	Oportunidades de Negocios en Carbono y Energía
Lorenzo Eguren	Consultor	Oportunidades de Negocios en Carbono y Energía
Ingrid Muñoz	Comité Técnico	Peru Green Building Council (Consejo Peruano de Construcción Sostenible)
Andrea Ruiz de Somocurcio	Comité Técnico	Peru Green Building Council (Consejo Peruano de Construcción Sostenible)
Sebastián Dañino	Director	Peru Green Building Council (Consejo Peruano de Construcción Sostenible)
Carlos Rueda	Investigador	PlanCC
David García	Consultor	PlanCC
Elizabeth Culqui	Consultora	PlanCC
Rodrigo Cabrera	Profesional	Pontificia Universidad Católica del Perú
Héctor Miranda	Gerente	Red Regenerativa
Eduardo Bauer	Planeamiento	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
Elmer Quinteros	Especialista	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
Patricia Tord	Coordinador regional	Swisscontact
Eusebio Ingol	Profesor	Universidad Nacional Agraria La Molina
Christian D. León	Coordinador del proyecto LiWa	Universidad de Stuttgart
Richard Valdivia	Especialista	Universidad Ricardo Palma
Gladis Macizo	Asesor	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú, Oficina de Medio Ambiente

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el estudio fue apoyado por un Comité Directivo constituido por una amplia gama de partes interesadas.

Cuadro A3: Miembros del Comité Directivo y organizaciones de pertenencia.

Nombre	Organización	Nombre	Organización
Carlos Ludeña	Banco Interamericano de Desarrollo	Sofía Hidalgo	Municipalidad Metropolitana de Lima
Jaime Fernández-Baca	Banco Interamericano de Desarrollo	Guisselle Castillo	Municipalidad Metropolitana de Lima
Roberto de la Torre	Cámara de Comercio de Lima	Ricardo Alejos García	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
Mauricio Rosas	Cámara de Comercio de Lima	Eric Cosio Caravasi	Pontificia Universidad Católica del Perú
Oscar Chávez	Cámara de Comercio de Lima	Sofía Castro	Pontificia Universidad Católica del Perú
Yusith Vega	Cámara de Comercio de Lima	Iván Rodríguez	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
Karina Berrospi	Embajada Británica	Álvaro Torres	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
Patricia Iturregui	Embajada Británica	Orlando Valverde	Universidad Nacional Agraria La Molina
Regina Ortega	Ministerio del Ambiente del Perú	Cayo Ramos	Universidad Nacional Agraria La Molina
Mariana Alegre Escorza	Lima Cómo Vamos	Paola Hernández Montes de Oca	Universidad de Leeds
Alfonso Córdova	Ministerio del Ambiente del Perú	Faye McAnulla	Universidad de Leeds
Luzydna Cerrón Palomino	Ministerio del Ambiente del Perú	Andy Gouldson	Universidad de Leeds

Anexo B. Las fuentes de datos, los métodos y los supuestos clave

B1. Los gases de efecto invernadero

B1.1 El desarrollo de la línea de base

Las emisiones de GEI en Lima-Callao (actuales e históricas) se calcularon de acuerdo con los principios guía del Protocolo Global para la Medición Comunitaria de Emisiones (GPC) (2014). En resumen, los principios son los siguientes:

- *Mensurabilidad*. Como mínimo, los datos requeridos para realizar inventarios completos de emisiones deberían estar disponibles de inmediato. Cuando fue posible, obtuvimos datos de departamentos gubernamentales, instituciones y universidades locales.
- *Exactitud*. En el cálculo de emisiones de GEI no deberían sobreestimarse o subestimarse sistemáticamente las emisiones reales de GEI. Nuestros cálculos se basan en los mejores datos disponibles y en las predicciones más realistas.
- *Relevancia*. En las emisiones reportadas de GEI deberían considerarse las emisiones resultantes de actividades y consumos que tienen lugar dentro de los límites geopolíticos de la comunidad. Cuando fue posible, hemos reunido datos relativos al conjunto de Lima-Callao.
- *Integralidad*. Todas las fuentes de emisiones importantes incluidas deben ser consideradas. Nuestro método no abarca el ferrocarril de larga distancia, ni los viajes aéreos o por barco. Además, actualmente no tenemos datos sobre emisiones industriales no basadas en electricidad.
- *Consistencia*. Los cálculos de emisiones deben basarse en un enfoque consistente, como el considerado en este análisis. Además, en lo posible, los factores de emisiones idealmente deberían referirse específicamente a Lima-Callao.
- *Transparencia*. Los datos relativos a actividades, fuentes, factores de emisiones y metodologías de contabilidad deberían documentarse y divulgarse adecuadamente. En este informe se establece la metodología del proyecto.

Las proyecciones de las emisiones de GEI correspondientes a los sectores analizados las hemos realizado a partir de una gama de métodos presentados en el Cuadro B1. A continuación en este apartado se proporcionan más detalles sobre cómo hemos medido y proyectado la población y el PBI de Lima-Callao, y en la segunda parte del Anexo B se presentan las proyecciones y los supuestos relativos a las medidas de mitigación correspondientes a los diferentes sectores.

Cuadro B1: Lima-Callao: métodos de proyección para estimar diversos elementos de la línea de base.

Actividad	Métodos de proyección	Datos útiles
Población de Lima-Callao	Datos reales extrapolados después de 2014 utilizando un factor de crecimiento igual al proporcionado por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. ¹ Consideramos que la tasa de crecimiento del Perú es la misma que la de Lima-Callao. En este caso, nuestras estimaciones se aproximan mucho a las del Ministerio de Economía cuando este considera un escenario intermedio.	Estimamos que la población de Lima-Callao asciende a 9.500.000 en 2014 y pronosticamos un crecimiento hasta los 11.200.000 en 2030.
Producto bruto interno	Calculamos el PBI per capita del Perú dividiendo el PBI total por la población total estimada. Luego calculamos el PBI de Lima-Callao multiplicando el PBI per cápita del Perú por la población de Lima-Callao. Nuestro principal supuesto consiste en que la tasa de crecimiento económico de Lima-Callao es la misma que la del Perú. ²	Se pronostica que el PBI de Lima-Callao en 2014 será de US\$ 66.100 millones, y si continúan las tendencias recientes pronosticamos que el PBI crecerá hasta alcanzar US\$ 135.000 millones en 2030. Esto significa que el ingreso promedio per cápita en Lima-Callao fue de US\$ 6.989 en 2014, y según las tasas proyectadas de crecimiento económico y poblacional este ascenderá a US\$ 12.148 en 2030.
Producto bruto interno sectorial	Utilizamos elementos del PBI regional de Lima-Callao para elaborar las tasas de crecimiento del sector industrial y de servicios de Lima-Callao. Estos datos se utilizan para predecir el uso de combustible del sector comercial, en cuyo caso se aplicaron otros métodos de proyección y se dispuso de datos limitados.	
Tasa de cambio de US\$ a S./	Se mantuvo constante la tasa de cambio en base a 2014. ³	US\$ 1=S/. 2,8 (1 de enero de 2014).
Emisiones de aguas residuales	Se calcularon a partir de las emisiones nacionales y se vincularon con el crecimiento poblacional. Luego esta cifra se dividió entre los usuarios finales de los sectores industrial, comercial y residencial con base en datos sobre el uso de agua proporcionados por el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL).	Estimaciones: 417 ktCO ₂ e en 2014.
Emisiones de proceso	La estimación se basó en la extrapolación lineal de datos de 2000 y de 2009 consultados en la Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, que luego fueron ajustados con base en la ratio de población de Lima-Callao y del Perú. Se consideró solo el 50% del valor, ya que otros datos cubren cierto uso de combustibles líquidos. Los datos se mantuvieron constantes desde 2009.	Estimaciones: 791 ktCO ₂ e en 2014, y 791 ktCO ₂ e en 2030.
Generación eléctrica	Proyección lineal basada en cifras sobre la generación de energía eléctrica per cápita (y vinculada, por lo tanto, al crecimiento poblacional).	Consumo estimado per cápita: 1.729 kWh en 2014, y 2.666 kWh en 2030.

Actividad	Métodos de proyección	Datos útiles
Factor de emisión de la electricidad	<p>Período post-2014: proyecciones de electricidad del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico, consultadas para calcular el combustible utilizado con base en el factor de consumo de combustible específico constante de 2014 (es decir, sin mejoras tecnológicas).</p> <p>Período 2000-2012: uso de combustible y emisiones calculados a partir de datos reales.⁴</p>	Factor de emisión calculado: 0,24 tCO ₂ e/MWh en 2014, y 0,28 tCO ₂ e/MWh en 2030 (el factor general de emisiones se incrementa debido a la mayor proporción de gas en la red).
Consumo de electricidad por sector	Crecimiento exponencial y cálculo retrospectivo basado en las cifras de consumo sectoriales del período 1995-2001.	<p>Distribución en 2014: sector industrial, 58,0%; sector comercial, 18,4%; sector residencial, 24,3%; alumbrado público, 2,1%; generación de uso propio, 6,7%.</p> <p>Consumo en 2014: sector industrial, 8,1 TWh; sector comercial, 2,6 TWh; sector residencial, 3,4 TWh; alumbrado público, 300 GWh; uso propio, 944 GWh; pérdidas por transmisión, 1,1 GWh.</p> <p>Consumo en 2030: sector industrial, 15,4 TWh; sector comercial, 4,8 TWh; sector residencial, 5,8 TWh; alumbrado público, 305 GWh; uso propio, 1,1 TWh; pérdidas por transmisión, 2,1 GWh.</p>
Pérdidas por transmisión	El valor asciende al 7,9% de la electricidad generada (cifra de 2014) y se mantiene constante hasta 2030.	262 ktCO ₂ e en 2014, y 725 ktCO ₂ e en 2030.
Residuos en relleno sanitario y compostaje	La estimación se basó en datos reales. La proyección lineal se extiende hasta 2030.	<p>Cantidad producida: 3,0 Mt en 2014, y 5,0 Mt en 2030.</p> <p>Emisiones relacionadas: 896 ktCO₂e en 2014, y 2.299 ktCO₂e en 2030.</p>
Transporte	Se utilizaron datos reales sobre distancias de transporte por tipo de vehículo correspondientes al período 2005-2011, y se aplicó un factor de crecimiento exponencial para hacer proyecciones hasta 2030 y un cálculo retrospectivo hasta el año 2000.	Emisiones: 6.893 ktCO ₂ e en 2014, y 11.165 ktCO ₂ e en 2030.
Precios del combustible	Se utilizaron datos reales correspondientes al período 2003-2013. ⁵ Se consideró que los precios se incrementarán un 2% por año hasta 2030.	<p>Precios año 2014: gasolina, 2,37 S/. por litro; diésel, 2,5137 S/. por litro; gas licuado de petróleo, 1,2337 S/. por litro.</p> <p>Precios año 2030: gasolina, 2,4337 S/. por litro; diésel, 2,6637 S/. por litro, y gas licuado de petróleo, 1,0937 S/. por litro.</p>
	Los precios de la electricidad se han basado en datos correspondientes al período 2006-2010, y se ha considerado que dichos precios se incrementarán un 2% por año hasta 2030.	Precios promedio de la electricidad: 9,98 centavos de US\$/kWh en 2014, y 16,55 centavos de US\$/kWh en 2030.
Precios del combustible	Los precios del gas natural se basan en índices y datos reales del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería ⁶ . Se ha considerado una elevación de precios del 2% hasta 2030.	US\$ 10,5/GJ en 2014, y US\$ 17,4/TJ en 2030.

¹ Proyecciones correspondientes al período 2012-2030 basadas en la tasa de crecimiento de la población estimada por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (2012).

² Producto bruto interno del período 1990-2030 consultado en Bruno Seminario (2012).

³ Dato consultado en el Banco Central de Reserva del Perú.

⁴ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2006a).

⁵ Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Varios años).

⁶ Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2007).

Fuente: Elaboración propia.

El producto bruto interno

Si se considera el PBI pronosticado para el Perú¹⁴ y expresado en la proporción correspondiente a Lima-Callao sobre la base de la población proyectada, los resultados de nuestro análisis señalan que el PBI se incrementó rápidamente desde el año 2000, cuando su valor ascendía a US\$ 27.500 millones, hasta un valor estimado de US\$ 58.300 millones en 2012 y un monto estimado de US\$ 135.700 millones en 2030. El aumento proyectado desde 2000 hasta 2030 se basa en un factor de 2,3, y se predice que el PBI continuará incrementándose a una tasa anual promedio del 4,80% desde 2012 hasta 2030.

Cuando se calculó el PBI por sector,¹⁵ tal como puede verse en el Cuadro B2, la estructura de la economía de la región de Lima-Callao (nótese que nos referimos a la región amplia de Lima-Callao) estaba transformándose y continuará haciéndolo. El valor agregado de las actividades agrícolas tendrá una participación más baja, mientras que los sectores de industria y de servicios seguirán creciendo. Este cambio estructural está ocurriendo también en el nivel nacional (Seminario, Cigarán y Encinas, 2002), a medida que la participación porcentual de la industria y de los servicios continúa en aumento en el Perú, transformando al país en una economía industrial y urbana.

La población

En nuestro análisis consideramos la población calculada por Bruno Seminario para el período comprendido de 1990 a 2011 (Seminario, 2013), y luego realizamos proyecciones con base en la tasa de crecimiento anual de la población del 1,05% calculada por las Naciones Unidas (Naciones Unidas-Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población, 2012).

Calculamos la población desde 2012 multiplicando la población de 2011 por el factor $1+t$, donde t es la tasa de crecimiento anual promedio. Luego, la población de 2012 se multiplicó por $1+t$ para estimar la población de 2013, y así sucesivamente. Los datos calculados muestran que la población de Lima-Callao ha crecido rápidamente en el período comprendido de 2000 (7.400.000 habitantes) a 2012 (9.500.000 habitantes), y pronosticamos que probablemente continúe en aumento hasta 2030 (población estimada de 11.200.000), aunque a una tasa ligeramente más baja que la de las décadas previas.¹⁶

Cuadro B2: Lima-Callao: participación promedio del producto bruto interno por sector, 2001-2030 (en porcentajes)

	Agricultura	Industria	Servicios
2001-2005	5,2	25,0	69,8
2006-2010	4,6	25,4	70,0
2011-2015	4,0	25,8	70,2
2016-2020	3,5	26,1	70,4
2021-2025	3,1	26,3	70,6
2025-2030	2,7	26,4	70,9

¹⁴ El PBI correspondiente al período 1990-2030 fue consultado en Bruno Seminario (2012).

¹⁵ En lo que respecta al período 2000-2011, con base en la estructura por porcentaje del valor agregado bruto, calculamos el PBI de Lima-Callao por sector y por año, multiplicando la contribución del sector por el valor agregado bruto. En cuanto al período 2012-2030, consideramos el promedio anual (2007-2011) de la contribución del sector al valor agregado bruto anual del PBI de Lima-Callao. Para realizar las estimaciones se consultaron datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) sobre series nacionales. Disponible: <<http://series.inei.gov.pe:8080/sirtod-series/>>.

¹⁶ Luego del debate del comité directivo sobre el origen de esta base poblacional—dado que se predice que el crecimiento económico será mayor en el resto del Perú en comparación con Lima-Callao durante este período (comunicación personal con Bruno Seminario, 2013)—, las opciones pueden incluir inmigración inversa de peruanos provenientes del extranjero, así como la llegada de inmigrantes extranjeros que buscan oportunidades de empleo (comunicación personal con Bruno Seminario, 2013), debido a que las oportunidades de crecimiento son limitadas en sus propios países de origen (comunicación personal con Bruno Seminario, 2013). En general, la población del Perú se está incrementando, pero se encuentra en su fase de disminución, y en 2057 la población empezará a decrecer. La población proyectada para el año 2030 se acerca a la proyección realizada para el Ministerio de Economía en 2002 considerando un escenario intermedio.

B1.2 . El enfoque sectorial

En esta sección se resumen los enfoques considerados para estimar la línea de base correspondiente a cada uno de los sectores. También se presentan los supuestos clave considerados al evaluar cada una de las medidas de mitigación. Los datos utilizados para desarrollar las medidas de mitigación resultan de una combinación entre información relativa a las mejores prácticas y datos resultantes de los debates mantenidos en los talleres. Cabe aclarar que los datos resultantes de los debates en los talleres y de estimaciones razonables se han considerado en los casos en que la información disponible sobre las mejores prácticas era escasa o nula.

El sector de energía

A fin de formular las medidas de mitigación para el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) se realizaron consultas a expertos, y se consultaron documentos académicos y datos de la industria. Los proyectos de línea de base para la red del SEIN se fundaron en las proyecciones de 2013 del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC) relativas a la producción de electricidad en el Perú hasta 2035 (Centro de Investigación de Energía de Asia Pacífico, 2009), y en los datos primarios del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES-SINAC).¹⁷ Se desarrollaron escenarios de mitigación con base en la consulta a partes interesadas de Lima-Callao, y con base en la guía del COES-SINAC. Todos los escenarios señalan un mismo volumen de producción de electricidad en 2030. Los valores clave utilizados para estimar los escenarios de electricidad se presentan en el Cuadro B3.

Cuadro B3: Lima-Callao: valores clave utilizados para estimar escenarios de electricidad

		Capacidad operativa	Eficiencia térmica	Costo ficticio (overnight cost) de capital por MW	Costo de operación y mantenimiento (en US\$/MW)	Costo no relacionado a combustible
Carbón	Estándar existente	0,85	0,37	2.000.000	20.000	...
	Mejor tecnología disponible	0,85	0,40	3.246.000	...	...
Gas natural	Estándar existente	0,90	0,47	800.000	15.000	...
	Mejor tecnología disponible	0,90	0,53	1.023.000	...	...
Gasolina	Estándar existente	0,92	...	800.000	15.000	...
	Mejor tecnología disponible	0,92	...	...	...	...
Energía eólica	Estándar existente	0,30	...	...	...	...
	Mejor tecnología disponible	0,30	...	1.800.000	...	10
Energía solar fotovoltaica	Estándar existente	0,25	...	...	...	...
	Mejor tecnología disponible	0,25	...	1.600.000	20.000	10
Energía geotérmica	Estándar existente	0,75	...	...	...	...
	Mejor tecnología disponible	0,75	...	3.000.000	20.000	...

Fuente: Elaboración propia.

¹⁷ Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES-SINAC). Disponible: <<http://www.coes.org.pe>>.

El sector residencial

Las emisiones residenciales consisten en emisiones basadas en electricidad, residuos, agua y combustión directa.¹⁸ Las estimaciones de emisiones relacionadas con electricidad se basan en datos sobre el consumo de energía per cápita de la ciudad de Lima-Callao (Ministerio de Energía y Minas del Perú, s/f). Se calcula la proporción de consumo correspondiente a cada sector (incluido el uso doméstico), sobre la base de datos del Perú¹⁹ corregidos en función de las pérdidas por transmisión.

En lo que respecta al sector residencial hemos desarrollado dos escenarios de eficiencia energética diferentes para una gama de medidas que establecen la mejora del desempeño energético respecto del escenario sin cambios en 2015, 2020 y 2030, tal como se muestra en el Cuadro B4.

Se ha calculado que el costo de electricidad del sector residencial es de US\$ 700.000.000 en 2014, y se predice que crecerá a US\$ 1.550 millones en 2030.

Cuadro B4: Lima-Callao: desempeño supuesto de los dos escenarios de eficiencia energética seleccionados, 2015, 2020 y 2025 (en porcentajes)

	Desempeño mínimo de energía (en porcentaje de mejora respecto del escenario sin cambios)		
	2015	2020	2025
Escenario de eficiencia energética 1	10%	20%	30%
Escenario de eficiencia energética 2	10%	25%	50%

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro B5: Lima-Callao: supuestos clave relativos a las medidas de mitigación del sector residencial.

Medidas	Resumen y supuestos clave
Estándares de construcción verde para los nuevos edificios	Se partió del supuesto de que la medida de construcción verde se aplicaría al 20% de los nuevos edificios residenciales, con un nuevo costo promedio de US\$ 75. Costo extra de construir, 5%; ahorro de energía, 25%. Los edificios se construyen cada año desde 2015 hasta 2030. Los ahorros de CO2 y de energía se calculan para un período de 40 años luego de la construcción (es decir que las construcciones concluidas en 2030 supondrán ahorros hasta 2070).
Adopción de estándares de eficiencia energética para aparatos domésticos (de entretenimiento, de cocina, aires acondicionados, lavadoras, calentadores de agua, refrigeradores) (EE1)	Ahorro de energía del 10%, el 20% y el 30% en 2015, 2020 y 2025, respectivamente. Se parte del supuesto de que los costos de los aparatos serán un 25% más altos en este escenario, y se considera que, según de qué aparato de uso doméstico se trate, la duración de este variará de 10 a 15 años.
Adopción de estándares de eficiencia energética para aparatos domésticos (de entretenimiento, de cocina, aires acondicionados, lavadoras, calentadores de agua, refrigeradores) (EE2)	Ahorro de energía del 10%, el 25% y el 50% en 2015, 2020 y 2025, respectivamente. Se parte del supuesto de que los costos de los aparatos serán un 50% más altos en este escenario, y se considera que, según de qué aparato de uso doméstico se trate, la duración de este variará de 10 a 15 años.

¹⁸ Una explicación sobre cómo se ha calculado el elemento de combustión directa puede consultarse en el apartado sobre industria incluido en la parte B del capítulo 3 de este trabajo.

¹⁹ Los datos sobre la estructura nacional del consumo por sectores fueron consultados en Ministerio de Energía y Minas del Perú (s/f).

Medidas	Resumen y supuestos clave
Iluminación: eliminación de luces incandescentes y reemplazo con lámparas fluorescentes compactas	Cambio del 100% respecto del escenario sin cambios: reemplazo de todos los focos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas. Se considera un total de tres focos por hogar y de cinco horas de uso por día, y se supone que las luces incandescentes son de 100 W, cuestan US\$ 1 por foco y tienen un ciclo de vida de 1.000 horas. Las lámparas fluorescentes compactas son de 23 W, cuestan US\$ 11 por foco y tienen un tiempo de vida de 10.000 horas. ¹ Se estima un 50% de adopción en Lima-Callao. ²
Iluminación: eliminación de luces incandescentes, reemplazo con lámparas fluorescentes compactas, y reemplazo de estas por diodos que emiten luz (LED) en 2020	Cambio del 100% respecto del escenario sin cambios: reemplazo de todos los focos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas en 2015 (véase el punto anterior). Luego, reemplazo de estas por LED en 2020. Los LED son de 15 W, cuestan US\$ 50 y tienen un tiempo de vida de 50.000 horas. Se estima un 50% de adopción en Lima-Callao.
Cambio de comportamiento: programas educativos sobre el uso en modo de espera, uso de lavadoras, uso de refrigeradores, etcétera	Costo del programa estimado con base en datos del Programa Water for Life y datos sobre la población de Lima-Callao y la población nacional considerada para estimar la población de Lima-Callao. Se estima la llegada al 5% de la población por semana, y se calcula un 5% de reducción de electricidad por persona participante del programa educativo.
Programa de calentadores de agua	Escenario 1: la meta consiste en que un 10% de las organizaciones (38.141 en 2030) dispongan de calentadores de agua solares en 2030 (EE1). Tamaño del colector, 100 ft ² (9,29 m ²); costo de instalación, US\$ 13.400. ³ Se supone que se reemplaza un calentador de agua y que el agua se calentaría a 30 grados con una eficiencia del calentador del 70%. Los sistemas solares tienen un ciclo de vida de 30 años.
Energía solar fotovoltaica	Escenario 1: meta de 10 MW adicionales por año (390 organizaciones por año, con base en un supuesto de 4m ² por hogar). Se estima que un panel de 2,5 m ² opera a 1 kW y produce US\$ 2.000. Eficiencia del 20%. De la electricidad generada, un 80% es utilizado en el lugar de producción (en reemplazo de energía que antes se compraba), y el 20% restante se vende a la red a un precio que incluye un plus del 20% sobre el costo normal.
Techos verdes en edificios de departamentos residenciales	Los costos de construcción de techos verdes promedian los US\$ 135 por m ² y la cobertura completa reduce en un 15% los costos de aire acondicionado. Se estima que los edificios de departamentos tienen 3 pisos en promedio, y que las unidades poseen un promedio de 92,9 m ² . Un 10% de los nuevos edificios están incluidos en el escenario.
Techos verdes en casas semi-separadas	Un 10% de las nuevas edificaciones incluyen una pared verde. Se calcula un 15% de reducción del uso de aire acondicionado. Los costos de construcción del techo promedian los US\$ 90 por m ² . Tamaño de departamento promedio.

Medidas	Resumen y supuestos clave
Pasaje de gas licuado de petróleo a gas natural	Las conexiones cuestan US\$ 769,2 cada una. Se estima un uso de gas licuado de petróleo de 180 GJ por año en hogares sin gas natural. Se estima un uso de gas natural en los hogares de 255,60 GJ luego de la conexión. Se añaden 304.294 conexiones por año hasta 2019.
Instalación de infraestructura avanzada de medición	Costo del medidor de US\$ 50 por hogar. Reducción del 2,5% del uso de electricidad luego de la instalación del medidor. Porcentaje de compra de electricidad que antes era robada: 75%. ^{4, 5 y 6}

¹ Khan y Abas (2011).

² El número de hogares fue consultado en Compañía Peruana de Estudios de Mercado y Opinión Pública (2014).

³ Véase el sitio web de SunMaxx Solar. Disponible: <<http://www.sunmaxxsolar.com/commercial-solar-hot-water-heating.php>>.

⁴ Banco Mundial (2011).

⁵ Banco Mundial (2009).

⁶ Véase el apartado sobre el sector eléctrico en el sitio web de Luz del Sur. Disponible: <<http://www.luzdelsur.com.pe/nosotros/sector-electrico.html>>.

Fuente: Elaboración propia.

El sector de construcción comercial

Las emisiones comerciales están constituidas por emisiones basadas en electricidad para el sector comercial, por un estimado de emisiones fugitivas directas, y por emisiones relativas al alumbrado público y al agua correspondientes a los sectores comercial y gubernamental (se consideran tanto las emisiones de proceso como las relacionadas con electricidad). Los datos sobre electricidad se basan en el consumo de energía per cápita de la ciudad de Lima-Callao (Ministerio de Energía y Minas del Perú, s/f). Se calcula la proporción de consumo correspondiente a cada sector (incluidos el uso comercial y el alumbrado público) sobre la base de datos del Perú²⁰ corregidos en función de las pérdidas por transmisión.

El costo del sector comercial se ha valorizado en US\$ 180.000.000 en 2000, y se predice que crecerá hasta US\$ 1.080 millones en 2030.

Para desarrollar medidas de mitigación de emisiones de electricidad asociadas con el sector comercial, utilizamos una serie de guías del MINAM relativas al sector público (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2008c), los centros comerciales (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2008d), el sector comercial (Ministerio de Energía y Minas del Perú,

2008a) y los hospitales (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2008b), en que se detallan posibles reducciones de emisiones y períodos de pago relativos a cada uno de estos subsectores. En lo que respecta a las emisiones no relacionadas con la electricidad (aquellas vinculadas al uso de gasolina, diésel, GLP y gas natural en el sector comercial), consideramos los ahorros identificados en la guía del sector comercial (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2008a) y los aplicamos a todas las emisiones no relacionadas con la electricidad (excepto en los casos del alumbrado público y del uso de agua). Se partió del supuesto de que la medida de construcción verde se aplicaría al 20% de los nuevos edificios comerciales, con base en cifras correspondientes al período 2009-2011 (Cámara Peruana de la Construcción, 2011), y se consideró un costo de construcción promedio de US\$ 2.000/m².²¹ Además se partió del supuesto de que el costo adicional de construcción era del 5%,²² y de que el ahorro de energía estimado era del 25% (Kats, 2003). En lo que respecta a la medida sobre el alumbrado de calles, consideramos que el 50% de las luces de las calles se convertían a LED, y los LED ahorraban un 60% de energía en comparación con las luces incandescentes, y que tenían un costo de instalación de US\$ 562.

²⁰ Los datos sobre la estructura nacional del consumo por sectores han sido consultados en Ministerio de Energía y Minas del Perú (s/f).

²¹ CB Richard Ellis Perú (CBRE Perú), Mercado de oficinas clase A y A+ según zona, 2010-2012.

²² Presentación de PowerPoint del Consejo Mundial de Construcción Verde (WGBC), promedio del costo real desde un -0,4% a un 12,5% con base en costos reales.

Cuadro B6: Lima-Callao: supuestos clave relativos a las medidas de mitigación del sector comercial.

Medidas	Resumen y supuestos clave
Certificaciones de construcción verde en el sector comercial	Un 20% de las nuevas construcciones se realizan con certificación verde. El costo de construcción promedio es de US\$ 2.000 por m ² . El costo extra de construir es del 5% y el ahorro de energía es del 20%. Los edificios se construyen cada año desde 2015 hasta 2030. Se calculan ahorros de CO ₂ y de energía hasta 2050 para todos los edificios, lo que se refleja en el valor presente neto total y en cifras totales de CO ₂ .
Programa de reconversión de electricidad en el sector público	Electricidad: constituye el 7% de la electricidad comercial. Puede alcanzarse un ahorro del 15%, pagándose en 2 años.
Programa de reconversión de electricidad en el sector comercial	Electricidad: constituye el resto de la electricidad comercial (61%) (después de la implementación de las medidas para el sector público, los centros comerciales y los hospitales). Puede alcanzarse un ahorro del 8,5%, pagándose en 3 años.
Reconversión térmico comercial	Todas las emisiones térmicas (gasolina, diésel, gas licuado de petróleo, gas natural) tienen el mismo potencial de reducción que para el sector comercial, pagándose en 3 años y con ahorros promedio del 13%.
Alumbrado de calles: conversión a LED	La mitad del total de luces de las calles estimado en 2015 cambia a LED (375.561). La composición del alumbrado público es igual a la señalada por los datos de 2005. El uso promedio del foco de luz es de 12 horas por día. Se considera que un 60% de los focos incandescentes tienen una potencia eléctrica de 70 W; un 30% tiene una potencia de 150 W, y un 10%, una potencia de 250 W. Se parte del supuesto de que los LED ahorran un 60% de energía. El costo de instalación es de US\$ 562 por unidad.
Programa de reconversión de electricidad en centros comerciales	Electricidad: constituye el 28% de la electricidad comercial. Puede alcanzarse un ahorro del 6,5%, pagándose en 3 años.
Semáforos: conversión a diodos que emiten luz (LED)	6.000 nuevos LED en semáforos de Lima-Callao. Los LED son 90% más eficientes que las luces incandescentes y pueden durar hasta 10 años. Reducen el uso de energía de la ciudad en 5.200 MWh, ahorran más de S/. 4.500.000 (aproximadamente, US\$ 1.500.000 anualmente) y conllevan una reducción de más de 2.500 t de CO ₂ . Se ha considerado que se requieren 5 años para implementar el programa, y que cada reconversión cuesta US\$ 500. ¹
Programa de reconversión de electricidad en hospitales	Electricidad: constituye el 3,7% de la electricidad comercial. Puede alcanzarse un 7,5% de ahorro, pagándose en 3 años.
Energía solar fotovoltaica en el sector comercial	Escenario 1: meta de 10 MW adicionales por año (390 organizaciones por año, con base en un supuesto de 4m ² por hogar). Se estima que un panel de 2,5 m ² opera a 1 kW y cuesta US\$ 2.000. Eficiencia del 20%. De la electricidad generada, un 80% es utilizado en el lugar de producción (en reemplazo de energía que antes se compraba), y el 20% restante se vende a la red a un precio que incluye un plus del 20% sobre el costo normal.
Calentadores de agua solares en el sector comercial	La meta consiste en que el 10% de las organizaciones (38.145 en 2030) dispongan de calentadores de agua solares en 2030, la que permite un ahorro de 200 kWh por mes por sistema. El costo de instalación es de US\$ 2.500. ² Se supone que la medida permite reemplazar electricidad de 200 kWh por mes por sistema. Los sistemas solares tienen un ciclo de vida de 20 años.
Infraestructura avanzada de medición	Conversión del 75% de los medidores comerciales a medidores inteligentes en 2030. Costo por metro de US\$ 350. ³

¹ Datos consultados en Fundación Clinton. Disponible: <<http://buildyourworld.clintonfoundation.org/answer.php?c=1&n=10&lang=en>>.

² Milton y Kaufman (2005), y datos consultados en Wikipedia sobre agua calentada con energía solar. Disponible: <http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_water_heating>.

³ Banco Mundial (2011).

Fuente: Elaboración propia.

El sector industrial

Disponer de datos sobre el sector industrial en el nivel de la ciudad fue particularmente difícil. Nuestra línea de base para las emisiones, por lo tanto, está compuesta de una combinación de varias actividades diferentes:

- Los datos sobre uso de electricidad se dividen en uso industrial, pérdidas por transmisión y uso propio de la industria para este sector. Se basan en el consumo de energía per cápita de la ciudad de Lima-Callao. Luego se calcula la proporción de consumo correspondiente a cada sector (incluido el uso de electricidad de la industria) sobre la base de datos del Perú corregidos en función de las pérdidas por transmisión (Ministerio de Energía y Minas del Perú, s/f).
- Las estimaciones sobre emisiones de gas natural,²³ diésel²⁴ y gasolina se basan en datos del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) y del Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM). Como los datos solo abarcaban un período de un año, se consideró el uso de electricidad industrial dentro de la ciudad, en cuyo caso se disponía de datos correspondientes al período 2000-2011, y sobre la base de estos datos se calcularon los relativos a las otras fuentes de energía.
- Las emisiones relacionadas con procesos industriales son las emisiones generadas en la producción y transformación de productos minerales, químicos y metálicos. Los datos sobre emisiones de proceso fueron consultados en los inventarios nacionales elaborados en 2000 y 2009. Dichos datos fueron ajustados a una escala más baja sobre la base de datos de población y de una tendencia establecida de un año a otro, y se mantuvieron constantes luego de 2009. Algunos datos relacionados con procesos estaban disponibles para el nivel de la ciudad, incluidos los relativos al uso de gas natural, diésel y gasolina en la industria (véase el punto anterior). En lo que respecta al nivel de la ciudad, no se hallaron mediciones relacionadas con otros procesos, como la producción de cemento y el uso de otros combustibles fósiles, por lo que hemos reducido a la mitad las emisiones calculadas, a fin de representar los datos faltantes con base en la probable división de las emisiones de procesos entre estas diferentes fuentes.

En cuanto a las opciones de mitigación relativas al sector industrial, notamos una disponibilidad limitada de datos sobre emisiones de GEI o uso de energía de áreas particulares del sector industrial de Lima-Callao (por ejemplo, la producción de cemento

o los metales, entre otras). Por lo tanto, utilizamos información del IPCC relativa a los siete sectores más importantes en términos de emisiones de GEI en las naciones en desarrollo según el escenario de cambio climático B2. Los sectores considerados fueron los siguientes: metales, aluminio primario, cemento, etileno, amoníaco, refinería de petróleo, y pulpa y papel. Adicionalmente, incluimos un sector para la conservación de electricidad en todos los demás subsectores industriales. Consideramos datos sobre niveles de producción, probable intensidad de los GEI, potencial de mitigación y costo de mitigación consultados en el informe del IPCC (Bernstein et al., 2007: 455). Como estos son los sectores clave para la reducción de emisiones en el sector industrial, tal como señala el IPCC, aplicamos estos datos a Lima-Callao con base en el supuesto de que los siete sectores clave conformaban el 50% de las emisiones industriales totales, y distribuimos las emisiones de acuerdo con el PBI nacional para cada uno de los subsectores industriales considerados (Banco Central de Reserva del Perú, 2012). Además, no consideramos los sectores del aluminio y de la pulpa y el papel, ya que, con base en las consideraciones de nuestros grupos de expertos, estimamos que estos no son predominantes en Lima-Callao. Luego utilizamos los datos del IPCC para producir información relativa a Lima-Callao sobre posibles ahorros de emisiones y costos.

El sector de transporte

Para calcular las emisiones de CO₂ y el uso de combustible, utilizamos la metodología del IPCC basada en distancias (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2005). Incluimos la primera línea del metro²⁵ y los estándares Euro IV en la línea de base. Los datos de actividad fueron consultados en los Planes Maestros de 2004 y 2012 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú/Consejo de Transporte de Lima y Callao/Agencia de Cooperación Internacional del Japón/Yachiyo Engineering Co./Pacific Consultants International, 2005). Los tiempos y las velocidades promedio de los viajes pueden consultarse en el Cuadro B7.

En términos de los factores de emisión, se reconoce aquí que dependen de las características del combustible para las diferentes regiones geográficas, pero al no disponerse de factores elaborados a la medida para Lima-Callao decidimos considerar diferentes fuentes, dependiendo del tipo de combustible.²⁶ En el Cuadro B8 se presentan datos sobre la eficiencia de los combustibles utilizados por tipo de vehículo.

²³ Reporte de Cálidda y la Transportadora de Gas del Perú (TGP).

²⁴ Para diésel y gasolina: “Provincia de Lima: demanda de combustibles líquidos de distribuidores minoristas por producto y mes, año 2012”. Fuente: Sistema de Control de Órdenes de Pedido (SCOP).

²⁵ Con relación al metro, véase Transport for London (TfL). “What we do”. Disponible: <<http://www.tfl.gov.uk/corporate/modesoftransport/londonunderground/1608.aspx>>. Con relación al BTR, consúltese Lima Cómo Vamos (2010).

²⁶ Gasolina (Grutter, 2012); factores de conversión del Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA) (Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales, 2013a) para gas, diésel y electricidad.

Cuadro B7: Lima-Callao: datos sobre variables clave consideradas en el análisis del sector de transporte.

Tiempo promedio de viaje (en minutos)		Velocidad de viaje (en km/h)	
A pie	12,4	2004	33,4
En motocicleta	10,8	2010	22,7
En automóvil	24,9	2015	17,9
En bus	44,7	2020	16,4
Otros modos de transporte	29,8	2025	17,3
Todos los modos	31,4	Metropolitano	23,5
		Línea de metro	33

Cuadro B8: Lima-Callao: datos considerados al evaluar diferentes modalidades de transporte en el análisis del sector de transporte

Tipo de vehículo	Combustible utilizado	km/l	gCO _{2e} /km	Emisiones por pasajero por km (gCO _{2e} /km)	Tasa de ocupación promedio (personas por vehículo)
Motocicleta y mototaxi	Gasolina	26,67	87	76	1,14
Automóvil	Gasolina	10,31	224	117	1,91
Automóvil	Gas natural	11,01	43	23	1,91
Otros de tipo privado	Gasolina	10,31	224	145	1,55

Las medidas de mitigación

Desarrollo del sistema de buses de tránsito rápido (BTR)

Esta opción apunta a construir otro sistema de BTR. Para calcular las emisiones consideramos que el 46% de todos los viajes al trabajo se hacían con algún tipo de vehículo motorizado (Ministerio de Vivienda del Perú, 2004). Con base en datos sobre la participación de vehículos motorizados particulares (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú/ Consejo de Transporte de Lima y Callao/Agencia de Cooperación Internacional del Japón/Yachiyo Engineering Co./Pacific Consultants International, 2005), consideramos que el 23% de esos viajes se hacían con un vehículo motorizado privado. Partimos del supuesto de que, con el nuevo BTR, un 10% de los

viajes al trabajo que se hacían en automóvil se harían ahora por BTR. También consideramos que los buses del BTR tienen una tecnología de vehículos de baja emisión (Euro VI), GNC, de modo que el factor de emisión es de 94 gCO₂/km.²⁷ Tal como recomienda la CMNUCC, tuvimos en cuenta la cantidad de CO₂ emitida mientras se construía este proyecto –conocida como fuga (leakage)–. Consideramos 125,37 KtCO₂ distribuidas en un tercio por año, debido a las fugas del proyecto por el desvío del tráfico, la construcción del sistema y otros factores (Schipper, Deakin, McAndrews y Frick, 2010). En términos de los costos, consideramos un costo de capital de US\$ 262.000.000, que es el costo que el Instituto para la Política de Transporte y Desarrollo reportó como el costo del primer sistema de BTR de Lima-Callao,²⁸

²⁷ Véase el sitio web de MAN Truck & Bus. Disponible: <http://www.mantruckandbus.no/no/presse_og_media/press_details_230082.html>.

²⁸ Véase información sobre el BTR en Lima-Callao. Disponible: <<http://www.chinabrt.org/en/cities/lima.aspx>>.

Tipo de vehículo	Combustible utilizado	km/l	gCO _{2e} /km	Emisiones por pasajero por km (gCO _{2e} /km)	Tasa de ocupación promedio (personas por vehículo)
Taxi	Gasolina	9,50	243	683	1,07
Taxi	Diésel	13,20	202	565	1,07
Taxi	Gas natural	8,10	58	164	1,07
Combi	Gasolina	2,97	484	25	19,50
Combi	Diésel	2,85	484	25	19,50
Combi	Gas natural	4,81	484	25	19,50
Microbús o bus	Gasolina	3,20	1.400	23	61,75
Microbús o bus	Diésel	3,34	1.500	25	61,75
Microbús o bus	Gas natural	3,71	1.500	24	61,75
Nuevo sistema de buses de tránsito rápido Euro 6	Gas natural	1,67	820	8,2	100
Sistema de buses de tránsito rápido (GNC)	Gas natural	1,67	393	3,93	100
Metro	Electricidad	...	63,17	0,05	1.200
Automóvil nuevo	Gasolina	15,8	146	77	1,91

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos consultados en Grutter (2012); Ministerio de Energía y Minas del Perú (2009); Lima Cómo Vamos (2010); sitio web de MAN Truck & Bus; Shigemi et al. (2013); U.S. Environmental Protection Agency 2001 Guide; Perfil Nama Transport Peru; Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (2013b), y skyscrapercity.com, disponible: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1167911&page=214>>.

y también tuvimos en cuenta el costo de combustible de operar el sistema. Para calcular el ingreso de efectivo, proyectamos el precio actual del Metropolitano (S/. 2, aproximadamente US\$ 0,70) y una tasa de capacidad del 75% del BTR.

Construcción de la Línea 2 del metro

En lo que refiere a la construcción de una nueva línea de metro (Línea 2), partimos del supuesto de que la construcción se iniciará en 2015 y terminará en 2020. La nueva línea proveerá 647.000 viajes por día y supondrá un 2% de crecimiento del número de pasajeros por año. Estimamos emisiones de 0,56 kWh por pasajero por km (Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales, 2013b). Consideramos fugas de este proyecto de alrededor de 675 ktCO₂ distribuidas en 62 meses

(duración de las obras de construcción) (Agencia de Promoción de la Inversión Privada-Perú, 2013a). De acuerdo con Proinversión, la construcción, la operación y el mantenimiento de 35 km de la línea del metro suponen un costo de US\$ 5.701 millones (Agencia de Promoción de la Inversión Privada-Perú, 2013b). Consideramos costos operativos de US\$ 0,07 por pasajero (Sistema de Transporte Colectivo de la Ciudad de México, varios años). Partimos del supuesto de que el precio estándar es de S/. 2 (aproximadamente US\$ 0,70).

Cumplimiento de los estándares de emisiones para vehículos ligeros

El parque automotor actual de Lima-Callao emite 224 gCO_{2e}/km, con una eficiencia de combustible de 9,71 por 100 km. Consideramos que los fabricantes e importadores tendrán un parque automotor que emita

130 gCO₂/km viajado (Comisión Europea, 2014), y que la tasa de penetración será del 5% desde 2015.²⁹ Como es posible que los nuevos vehículos se utilicen para recorrer distancias mayores, se ha considerado un efecto rebote del 10% en las distancias recorridas (Greening, Greene y Difiglio, 2000; Dahl y Sterner, 1991).

Promoción de vehículos particulares híbridos

Se sugiere un programa de subsidio de US\$ 2.000 para incrementar la actualización de híbridos. Partimos del supuesto de que un vehículo híbrido consume 34 kWh por cada 100 millas (equivalente a 21.25 kWh por 100 km) (U.S. Department of Energy, s/f), y tiene un precio promedio de US\$ 17.187. Consideramos un factor de conversión de 130 gCO₂e/km (Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales, 2013b). También tuvimos en cuenta un efecto rebote en la distancia recorrida por los vehículos del 10% y una tasa de penetración del 5%.

Conversión de vehículos particulares a GNC

La meta consiste en convertir a gas, en 5 años, el 25% del parque automotor que utiliza gasolina. La tasa de penetración sería del 5% por año. El precio de los kits de conversión de GNC depende del tipo de motor, pero consideramos un valor promedio de US\$ 2.500 por kit de conversión.³⁰

Conversión de todos los taxis a GNC

Partimos del supuesto de que los taxis tienen actualmente la siguiente distribución de combustibles: un 16,81% funcionan a gasolina; un 9,20%, a diésel, y un 73,99%, a gas.³¹ Esta opción de mitigación propone convertir los taxis que funcionan a gasolina y mandar al chatarreo a los taxis que funcionan a diésel, reemplazándolos por nuevos taxis a gas. En lo que respecta a la conversión de taxis (alrededor de 47.000 unidades), hemos considerado una metodología similar que la propuesta en la opción anterior, y los mismos parámetros para estimar el precio de la conversión. Consideramos que los taxis a gas tienen una eficiencia de combustible de 8,10 km/l (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2009) y un

factor de emisión de 58 gCO₂/km. De acuerdo con Shigemi (Shigemi et al., 2013), consideramos un total de 580 gCO₂e por vehículo eliminado. En términos de costos, estimamos que el costo de enviar al chatarreo a un vehículo es de US\$ 128, y que el precio promedio de un taxi es de US\$ 14.000. Se considera un efecto rebote del 10% en las distancias recorridas.

Promoción de teletrabajo

Para reducir el número de personas y de vehículos en la calle, esta opción propone el trabajo desde casa un día a la semana. De acuerdo con el Instituto de Estudios Peruanos (2012), la tasa de penetración del teletrabajo en Lima-Callao podría ser del 26%.³² Sobre la base de consultas realizadas, consideramos que del 5% al 19% de este potencial podría lograrse en el período que estamos considerando. Un 23% de estos viajes podrían corresponder al transporte privado, y un 77%, al transporte público (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú/Consejo de Transporte de Lima y Callao/Agencia de Cooperación Internacional del Japón/Yachiyo Engineering Co./Pacific Consultants International, 2005). Además, tuvimos en cuenta un factor de emisión de 224 gCO₂e en el caso del transporte privado, y uno de 630 gCO₂e en el caso del transporte público. En términos de los costos, consideramos el costo de una campaña de televisión de US\$ 600.000 por año.

Desarrollo de ciclovías

Esta opción consiste no solamente en construir ciclovías, sino que también tiene como objetivo crear la infraestructura necesaria para alentar el ciclismo en la ciudad. Se considera la construcción de 300 km de ciclovías en 5 años para alcanzar niveles similares a los de Bogotá (Lima Cómo Vamos, 2010). Partimos del supuesto de que, con la infraestructura actual (118 km), se producen 77.000 viajes por día (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú/Consejo de Transporte de Lima y Callao/Agencia de Cooperación Internacional del Japón/Yachiyo Engineering Co./Pacific Consultants International, 2005). Consideramos que 1 km de ciclovía podría atraer 653 nuevos viajes diarios.³³ Proponemos construir 180 km de ciclovías (un 20% cada año

²⁹ De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), la tasa anual de crecimiento del parque automotor de Lima-Callao es del 6,5%, por lo que consideramos esta cifra. Véase "Oficina de estadística" del MTC. Disponible: <www.mtc.gov.pe/estadisticas/index.html>.

³⁰ Comunicación personal con Peter Davis de la Asociación de Representantes Automotrices del Perú (ARAPER).

³¹ II Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima-Callao 2011-2015.

³² Esta fue la distribución de viajes de trabajo en 2000 en vehículos motorizados, y nos basamos en el supuesto de que dicha composición no ha cambiado (Ministerio de Vivienda del Perú, 2004).

³³ Esta es una posición conservadora, ya que en otros proyectos se ha estimado que 1 km de ciclovías podría suponer 2.173 viajes por día (Banco Asiático de Desarrollo, 2010). Esto podría significar que existe el potencial de lograr una reducción aproximadamente 3,33 veces superior por km construido.

por 5 años) y estacionamientos, así como realizar mantenimiento de ciclovías y campañas informativas en televisión y radio. Partimos del supuesto de que solo las personas que actualmente usan el transporte público utilizarán el desarrollo ciclistico en un principio. Sin embargo, consideramos un cambio de comportamiento que supondría el pasaje de personas que usan vehículos motorizados particulares hacia el ciclismo (desde un 5% por año hasta un 30%) luego de 5 años, como consecuencia del desarrollo de la infraestructura y las campañas. Estimamos costos de US\$ 2.368.600, además de los ahorros por evitar el uso de transporte público y de automóviles.

Reemplazo de combis por ómnibus

Proponemos el chatarreo del 50% del total de combis y su reemplazo por ómnibus en 5 años, un 10% cada año. Partimos del supuesto de que las combis tienen un factor de emisión de 1.035 gCO₂/km,³⁴ mientras que un bus de gas nuevo tiene un factor de emisión de 128 gCO₂/km. Respecto del costo y de las emisiones de CO₂ del chatarreo de combis, consideramos cifras similares a las estimadas en el caso de la opción de chatarreo de automóviles viejos (US\$ 128 y 58 gCO₂e por vehículo). Consideramos un precio promedio de un ómnibus nuevo (Euro IV) de US\$ 670.000, además de sus costos de combustible (3,61 km/l) y los ahorros de combustible por evitar el uso de las combis.

Chatarreo de automóviles viejos y compra de nuevos automóviles híbridos

Esta opción de mitigación consiste en el chatarreo, en 2 años, del 15% de los automóviles que tienen más de 20 años de antigüedad. Consideramos que esos automóviles son reemplazados por pequeños automóviles híbridos altamente eficientes. Además, para calcular las emisiones consideramos dos fugas: las emisiones asociadas con la eliminación de automóviles viejos (580 gCO₂e por vehículo) y el efecto rebote: dado que es probable que los nuevos vehículos recorran distancias más largas, hemos descontado el 10% de los ahorros totales estimados para el primer año y el 20% de los ahorros correspondientes al segundo año para reflejar esta variable (Shigemi et al., 2013). En términos de costos, consideramos un precio promedio de US\$ 17.187 por cada automóvil híbrido. Partimos del supuesto de que un vehículo híbrido consume 34 kWh por cada 100 millas (equivalentes a 21,25 kWh por cada 100 km), y 2,6 galones por cada 100 millas (equivalentes a 6,175 l por cada 100 km) (U.S. Department of Energy, s/f).

Tributos de congestión para automóviles particulares a gasolina y a diésel

El objetivo de esta opción es reducir el tráfico en el centro de la ciudad de Lima-Callao mediante la construcción de un peaje de cordón que pagarán los automóviles particulares a gasolina y a diésel para circular en esta área. Proponemos exenciones de pago para los automóviles particulares híbridos, las combis, los ómnibus, los microbuses y los taxis. Partimos del supuesto de que el 51% de los automóviles particulares se usan habitualmente para ir al centro de la ciudad (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2009: 79). También supusimos que en 2004 el número de viajes en y hacia el centro de la ciudad en vehículos motorizados ascendió a 5.286.000, y que se ha mantenido igual (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú/Consejo de Transporte de Lima y Callao/Agencia de Cooperación Internacional del Japón/Yachiyo Engineering Co./ Pacific Consultants International, 2005: Vol. III, págs. 3-26). Consideramos que el porcentaje potencial de reducción de vehículos es del 21% en caso de implementarse el tributo de congestión (Transport for London, 2012). Supusimos, además, que estos viajes en automóvil que se reducirán se harán ahora en ómnibus a diésel.³⁵ Consideramos un peaje como el que Lima-Callao aplica en la carretera, de US\$ 1,42 (S/. 4). Nos basamos en cifras similares a los costos iniciales de Londres para establecer el esquema, de US\$ 265.000.000, con un costo operativo anual de unos US\$ 180.000.000 (BBC London, 2006; CBI, s/f). Sobre la base de otras experiencias, también proponemos aquí que el dinero que se obtenga por el cobro del peaje se gaste en mejoras del transporte público. De esta manera se mejorará la equidad socioeconómica, y así el esquema sería progresivo en vez de ser regresivo (Eliasson y Mattsson, 2006).

Inversiones en la gestión del tráfico

El rápido crecimiento de la población de Lima-Callao en la última década ha sobrepasado el desarrollo de la red vial de la ciudad. En el diseño de esta opción de mitigación se considera una serie de medidas de eficiencia vial como opción de mitigación única. El costo es de US\$ 700.000.000, y el tiempo de construcción es de 5 años. La reducción de los tiempos de los viajes, incluido un efecto rebote, es del 20% al culminar el proyecto. Se anticipa que la construcción incrementa los tiempos de viajes en un 5%. Se estima que el efecto rebote a largo plazo será del 15%, y se calcula que la eficiencia vial se incrementará en un 30%.

³⁴ El uso de combustible de un bus a diésel es de 35,1 l por cada 100 km, lo cual corresponde a un factor de emisión de 1.035 gCO₂/km (datos consultados en la guía de 2001 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos).

³⁵ Este es el común.

El sector de residuos

Se siguió la metodología del IPCC para calcular la línea de base correspondiente al sector de residuos (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2006b). Se obtuvieron datos sobre generación de residuos de la Municipalidad Metropolitana de Lima-Callao (Red de Instituciones Especializadas en Capacitación para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos, s/f.), relativos a los residuos domésticos, comerciales y públicos. Los datos sobre la composición de los residuos fueron reunidos a partir de la consulta de varias fuentes.³⁶ Consideramos las tendencias de producción de residuos para realizar un pronóstico hasta 2030 con base en una tasa de crecimiento de la producción de residuos por década del 2%. Partimos del supuesto de que, a partir del año 2000, el 93% de todos los residuos generados se colocan en rellenos sanitarios, y el remanente se destina al compostaje. Tomamos en cuenta los proyectos de ahorro de metano en Ancón, Huaycoloro y Modelo Callao, que ya existen. En el

Cuadro B9 se muestra la composición de residuos considerada para estimar las emisiones de GEI de los rellenos sanitarios.

Cuadro B9: Lima-Callao: datos sobre la composición de los residuos (en porcentajes)

Tipos de residuos	Distribución
Alimentos	46,1
Residuos de jardines	0,8
Papel	14,2
Madera	0,8
Residuos textiles	0,0
Residuos industriales	3,0

Cuadro B10: Lima-Callao: ubicación, tipo de propiedad, distribución, cantidad de residuos que manejan y costos de los rellenos sanitarios

Rellenos sanitarios	Ubicación	Tipo de propiedad	Proporción del total (en porcentajes)	Cantidad de residuos (en t/mes)	Costo por tonelada (en US\$)
Casren	Ancón	Privada	20,5%	41.055	3,4
Huaycoloro	Huarocharí	Privada	42,6%	85.319	4,5
Portillo Grande	Lurín	Pública	20,0%	40.026	3,7
Zapallal	Carabayllo	Pública	2,5%	5,107	3,7
Modelo del Callao	Ventanilla	Pública	14,4%	28,825	5,3
Totales/Promedios			100%	200,332	4,12

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos consultados en Ministerio del Ambiente del Perú y en IPES/Municipalidad Metropolitana de Lima (2005).

Las medidas de mitigación

Planta de reciclaje: 261 kt de papel, madera y residuos industriales

Esta medida consiste en construir tres plantas de reciclaje con una capacidad combinada para procesar 261.000 t por año. Partimos del supuesto de que, por cada tonelada de residuos, es posible reciclar el 26%.³⁷

El precio promedio del material reciclado en Lima-Callao es de US\$ 178,57 por tonelada (ONG Ciudad Saludable, 2011). El costo de capital estimado del proyecto es de US\$ 25.395.000, en que se incluyen 1,5 ha de terreno (US\$ 554 por ha), maquinaria, equipamiento y un valor de infraestructura de US\$ 465.000, así como un costo variable de US\$ 25 por tonelada (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, 2009).

³⁶ 2010-2011: Ministerio del Ambiente del Perú (2012); 2008: Ministerio del Ambiente del Perú (2009); 2005: Universidad Científica del Sur/Grupo GEA (2010); 2004: Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo-Desco (2010).

³⁷ Comunicación personal con Cecilia Castro.

Programa de compostaje de residuos en hileras

Este programa se dirige a construir una planta de compostaje de 500 toneladas diarias a un costo de US\$ 5 millones. En el Ecuador se ha implementado un programa similar como parte del MDL.

Adaptamos los parámetros para su aplicación en Lima-Callao y seguimos la misma metodología. Partimos del supuesto de que la planta tendrá la capacidad de procesar 100.000 t de residuos por año en 2030. Consideramos que un 35% de los residuos pueden convertirse en compost, y calculamos una producción estimada de 13.200 t de compost por año. El ciclo de vida de la medida es de 18 años. En contraste con los precios actuales (aproximadamente S/. 10 por 35 kg),³⁸ consideramos un precio conservador de S/. 0,5 por kilogramo de compost.

Programa de compostaje de residuos en cuba cerrada

Esta opción consiste en producir compost a partir de residuos. Si se considera el volumen de residuos producidos en Lima-Callao, podrían construirse cinco plantas con una capacidad máxima en 2030 de 63.000 t de residuos por año, y un incremento del 0,05% de la capacidad anual. Consideramos una metodología y unos parámetros similares a los aplicados en Malasia en el marco del MDL (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2006). El porcentaje de residuos que podrían generar compost es similar al considerado en la opción anterior (35%), y lo mismo se aplica al precio del compost (US\$ 0,07 por tonelada). Sin embargo, este método considera una producción más alta de 23.760 t de compost al año. Los costos por planta también son más elevados. Los costos iniciales son de US\$ 3.500.000, mientras que los costos de mantenimiento son de US\$ 1.217.820 por año.

Captura de gas de rellenos sanitarios para la generación de energía

Huaycoloro es uno de los rellenos sanitarios de Lima-Callao, que ya cuenta con una planta para la captura de gases y su combustión para producir energía.³⁹ Proponemos desarrollar un proyecto similar en Portillo Grande, un relleno sanitario municipal que comparte características similares a las de Huaycoloro. Partimos del supuesto de que Portillo

Grande tiene un contenido de metano del 0,5%, y de que el 20% de los residuos del relleno sanitario pueden usarse para implementar esta medida. El proyecto captará gas del relleno sanitario y lo transformará en energía, mientras que el gas del relleno sanitario que no alimenta al generador se quemará. Consideramos una capacidad bruta inicial de 5,74 MW, con una producción anual de electricidad de 42.101 MWh. El factor de capacidad de la planta de captar metano es del 0,9%, y el potencial de recuperación será del 3,3%. Partimos del supuesto de que el consumo de electricidad de la red para el proyecto es de aproximadamente 362 MWh por año, emitiendo 471 tCO₂e por año con un factor de emisión de electricidad de 1,3 tCO₂e/MWh. La naturaleza de este proyecto permite generar reducciones certificadas de emisiones en el contexto del MDL, lo cual podría utilizarse para financiar el proyecto. Como este mecanismo está en modo de espera, aquí no calculamos las reducciones certificadas de emisiones.

Quema de gas de rellenos sanitarios

Proponemos implementar dos proyectos orientados a quemar el gas producido en los rellenos sanitarios. Aplicamos la misma metodología y cifras similares a las del proyecto MDL denominado “Gas de Relleno Sanitario Ecometano de Ancón”.⁴⁰

Las aguas residuales

Línea de base: los datos nacionales sobre aguas residuales se han ajustado a escala con base en los niveles poblacionales. La información se complementó con datos del SEDAPAL y datos de la planta de procesamiento de aguas residuales.

Mitigación: Incineración de lodo de la planta de aguas residuales de Taboada para producir energía

La incineración de residuos provenientes de la recién culminada planta de tratamiento de aguas residuales de Taboada permite eliminar las emisiones de metano y generar energía para la planta de tratamiento de agua residual. Para que una planta incinere 1.200 t de lodo por día, los costos de capital estimados ascienden a US\$ 40 millones, y los costos de operación y de mantenimiento son de US\$ 3.900.000 por año.

³⁸ Dato consultado en la Universidad Nacional Agraria La Molina.

³⁹ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). “Project: 0708 Huaycoloro landfill gas capture and combustion - Crediting Period Renewal Request”. Disponible: <<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1160995060.18/view>>.

⁴⁰ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). “Project 1104 : Ancon-EcoMethane Landfill Gas Project”. Disponible: <<https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1177405329.37/>>.

B2 El agua

La oferta de agua

Lima-Callao recibe menos de 10 mm de lluvia cada año, lo que la incluye entre las áreas municipales más grandes del mundo que están situadas en un desierto. Como resultado, Lima-Callao depende íntegramente de los ríos Rímac, Chillón y Lurín para garantizar sus recursos hídricos. Las cuencas de estos ríos se originan en Los Andes.

De esos ríos, el Rímac provee más del 75% del total del agua utilizada en Lima-Callao, incluidas tanto las aguas de superficie como las extracciones del acuífero del Rímac. El agua proveniente de los túneles transandinos Marca I, III, IV y V complementa el caudal natural del Rímac con agua de la cuenca de Marcapomacocha. Se planea construir un túnel andino adicional, Marca II, que se culminará en 2040. El río Chillón provee aproximadamente del 15 al 20% del agua que se suministra a Lima-Callao, tanto aguas superficiales como del acuífero del Chillón. El Chillón es también un recurso importante para la agricultura en el valle de Chillón, las tierras agrícolas más importantes alrededor de Lima-Callao. Por último, el Lurín aporta aproximadamente el 5% de los recursos hídricos de la ciudad, exclusivamente a través de la extracción del acuífero del Lurín.

Un desafío para la estimación de la oferta y la demanda de agua es la existencia de un estimado de 2.000 pozos informales que obtienen agua subterránea de los tres acuíferos. SEDAPAL estima que la proporción de uso informal del agua subterránea representa un 20% de la extracción del acuífero del Chillón, del 30% al 35% en el caso del acuífero del Rímac, y el 20% en el caso del acuífero del Lurín. Estos porcentajes se calculan a partir de la diferencia entre los niveles reales y los estimados del acuífero, y sugieren que los pozos informales suministran aproximadamente 1.125 m³/s.⁴¹

El cálculo de nuestra oferta de agua en la línea de base se funda en datos proporcionados por el SEDAPAL, y comprende la oferta disponible de ríos, agua subterránea, lagos subterráneos y tubería transandina. Según el escenario de línea de base, la oferta de agua de 2014 a 2030 incluye toda la infraestructura existente de oferta de agua y se complementará pronto con el proyecto Marca IV-Huascacocha (2,63 m³/s).

La demanda de agua

Observamos que el uso de agua en Lima-Callao se ha incrementado extraordinariamente, desde 22 m³/s en 2000 hasta 28 m³/s en 2014. Ese aumento está relacionado en gran medida con una población creciente, ya que el uso per cápita se elevó de 258 l per cápita por día en 2000 a 262 l per cápita por día en 2014.

Al sector residencial le corresponde aproximadamente el 60% de todo el uso, mientras que el sector comercial (6%), el industrial (1%) y el gubernamental (4%) representan en conjunto el 11% del consumo. Las pérdidas y el uso informal representan aproximadamente un 28% (de este porcentaje, las pérdidas constituyen un 25%, y el uso informal, alrededor de un 3%).

En Lima-Callao se ha experimentado un aumento de la proporción de población con acceso a recursos hídricos provenientes del SEDAPAL, y un incremento de la proporción de recursos hídricos medidos. Desde el año 2000, la proporción de residentes con servicio se incrementó desde aproximadamente un 75% en el año 2000 hasta un 86% en el año 2014, incluso cuando el número de residentes en el área de servicios del SEDAPAL creció un 25%. Más aún, la proporción de la población de Lima-Callao con agua medida creció del 47% en 2000 al 70% en 2014. Como en la proporción de residentes con servicio hubo un incremento desde el 62,8% en 2000 hasta el 81,5% en 2014, se demuestra que la medición se ha incrementado tanto dentro del área de servicio existente como entre los nuevos usuarios.

La elevación del consumo per cápita y el incremento poblacional, combinados con precios crecientes del agua, han conllevado un incremento de la facturación total y per cápita de agua en Lima-Callao. En toda la ciudad, la facturación de agua se ha elevado aproximadamente un 300%, mientras que los costos per cápita se han duplicado con creces. El incremento de la facturación total ha sobrepasado el de la facturación per cápita debido a que el crecimiento poblacional superó con creces el aumento del consumo de agua per cápita.

Uno de los efectos más significativos de la elevación de los precios del agua y de la elevación del uso per cápita ha sido el impacto en los usuarios residenciales, quienes representan aproximadamente el 60% de todo el consumo de agua. Si se considera un tamaño promedio de familia de cinco personas, y se convierte el gasto a US\$ de 2013, se observa que la facturación anual de agua promedio por hogar se ha elevado de US\$ 61 a US\$ 112.

⁴¹ Cuando se aplicaron límites al uso del agua subterránea.

El total de aguas residuales tratadas se ha elevado alrededor de un 4% hasta un 18,5% en 2014. Sin embargo, el volumen de aguas residuales recolectado se ha incrementado desde aproximadamente 16 m³/s hasta 18 m³/s. Eso implica que el total de aguas residuales recolectado, pero no tratado, siguió siendo de aproximadamente 16 m³/s en 2014.

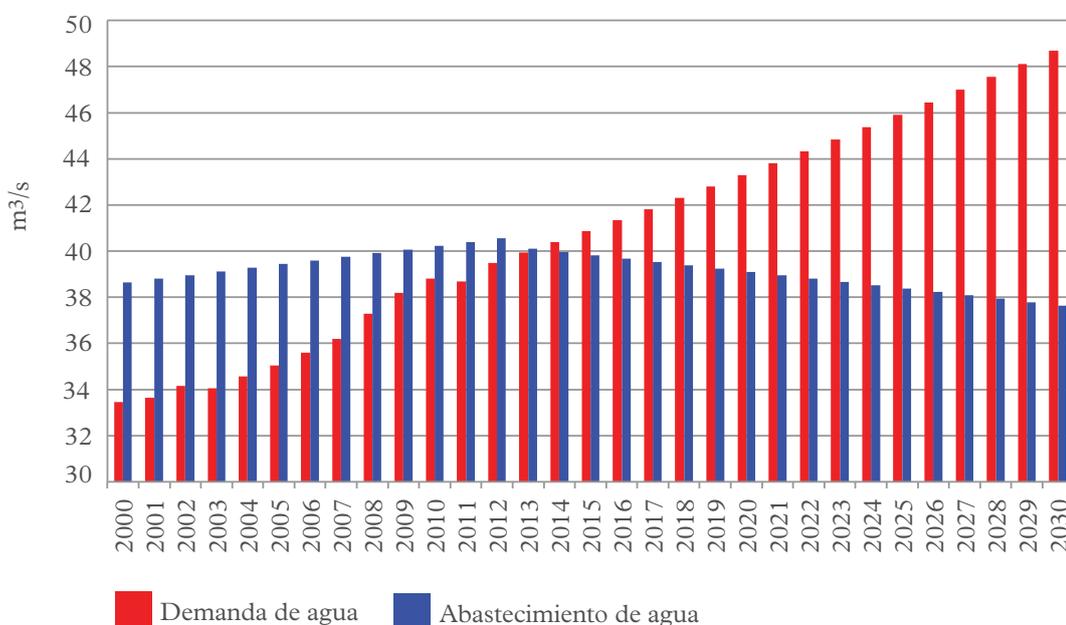
Una tarifa creciente por recolección de aguas residuales, aunada a una mayor producción de aguas residuales, lleva a un mayor gasto en la recolección de estas aguas. Estimamos que en 2000 el gasto total en las tarifas de aguas residuales llegaba a S/. 924.000.000, mientras que en 2014 esa cifra se duplicó con creces hasta llegar a S/. 2.206 millones. De manera similar, los gastos per cápita crecieron de S/. 125 a S/. 238 por año.

Nuestro cálculo de la demanda de agua en la línea de base se fundó en la metodología descrita en el Plan Maestro Optimizado del SEDAPAL de los años 2005 y 2009, y se basó en proyecciones sobre población, uso de agua per cápita por sector, fugas, cobertura de la

medición y cobertura de la infraestructura de agua. En resumen, la demanda de agua tiene los siguientes componentes:

- Demanda residencial: demanda de los hogares (60% de la demanda total de la ciudad).
- Demanda no residencial: demanda industrial, comercial y pública, incluida la irrigación de parques y la demanda agrícola (12% de la demanda total de la ciudad).⁴²
- Fugas y pérdidas del sistema: constituidas por varios componentes que resultan en la necesidad de una mayor producción de agua (24% de la demanda de la ciudad).
- Uso informal: uso no medido del agua que no se registra en los cálculos sobre pérdidas del sistema (4% de la demanda total de la ciudad).

Gráfico B1: Lima-Callao: balance hídrico proyectado, 2000-2030 (en m³/s).



Fuente: Elaboración propia.

⁴² Aunque la demanda agrícola se encuentra fuera del alcance de las medidas de mitigación que consideraremos, la demanda agrícola en los valles de los ríos Rimac, Chillón y Lurín proviene de las mismas fuentes de agua que utiliza Lima-Callao y, por lo tanto, se incluye en nuestro análisis de oferta y demanda.

Cuadro B11: Lima-Callao: supuestos clave relativos a las medidas de mitigación del sector de suministro de agua.

Medida	Resumen y supuestos clave
Programa de educación para la conservación del agua	Con base en la Campaña de Cultura del Agua desarrollada por el Banco Mundial, el Grupo Agua y la radioemisora RPP transmiten por radio un programa cuyo costo total es de US\$ 900.000, que, según se estima, llega al 20% de la población de Lima-Callao semanalmente y produce un 10% de reducción del uso de agua por cada persona a la que llega. ¹
Incremento del 12% o del 15% de las tarifas de los sectores residencial, comercial e industrial	Por medio de consultas se determinó que era factible incrementar la tarifa residencial promedio en un 12% y un 15%. Las elasticidades del precio de la demanda correspondientes a los sectores residencial, comercial e industrial ascienden a -0,25, -0,17 y -1,11, y fueron consultadas en estudios de literatura académica. ²
Recarga del acuífero	Costos de capital de US\$ 152.000.000; costos operativos de US\$ 20.000.000; tiempo de implementación, 2 años; oferta ampliada de 1 m ³ /s.
Atrapanieblas	150 l por cada 10 m ² de atrapaniebla a un costo de S/. 500. Se considera que los costos operativos ascienden al 10% del costo de capital. Un total de 3.500 estarán operativos en 2030.
Rehabilitación de la red primaria	Reconstrucción de secciones de la red de distribución primaria a un costo de US\$ 33.200.000. En 2030 el ahorro alcanzado será de 5 m ³ /s.
Pozos en la cuenca del río Chancay (2040)	Extracción de agua del acuífero del río Chancay ubicado al norte de Lima-Callao. Costos de capital de US\$ 2.000.000; costos operativos de US\$ 1.100.000; 1,5 m ³ /s en 2030; tiempo de construcción, 5 años.
Reservorio del río Chillón	Se represa el agua del río Chillón para mejorar la disponibilidad de agua durante todo el año. Costo de capital de US\$ 45.000.000; costo operativo de US\$ 45.000.000 por año; tiempo de construcción, 5 años; 2,65 m ³ /s en 2030.
Pomacocha-Río Blanco	Construcción de reservorios asociados con el río Yali para incrementar la capacidad de almacenamiento y la disponibilidad de agua en Lima-Callao vía el río Rímac y el túnel transandino Marca II. Costo de capital de US\$ 216.000.000; costo operativo de US\$ 4.320.000 por año; tiempo de construcción, 5 años; 5 m ³ /s.
Desalinización del agua de mar en el sur	Planta de desalinización por ósmosis inversa. Costo de capital de US\$ 149.000.000; costo operativo de US\$ 14.900.000; tiempo de construcción, 5 años; 1,5 m ³ /s
Represa de Casacancha junto con Marca III	Mejoras en el reservorio de río Casacancha. Costo de capital de US\$ 45.490.000; costo operativo de US\$ 909.800; 1,8 m ³ /s.
Extensión del túnel Graton	Extensión del túnel Graton. Costo de capital de US\$ 106.330.000; costo operativo de US\$ 2.126.600 por año; tiempo de construcción, 5 años; 1,5 m ³ /s.
Reservorio de Autisha	Mejoras en el canal y el reservorio de Autisha. Costo de capital de US\$ 1.200.000; costos operativos de 330.000 por año; tiempo de construcción, 5 años; 1,2 m ³ /s.
Recarga del acuífero para el río Lurín	Construcción de un reservorio para mejorar la regulación en tiempo de sequía. Costo de capital de US\$ 52.000.000; costo operativo de US\$ 8.000.000; tiempo de construcción, 5 años; 0,4 m ³ /s.

Medida	Resumen y supuestos clave
Recanalización del río Rímac	Obras para evitar el área de mayor contaminación del Rímac, a fin de reducir los costos de tratamiento y las pérdidas de agua. Potencial de 48 MW de generación de electricidad; costo de capital de US\$ 135.430.000; costo operativo de US\$ 2.708.600 por año; tiempo de construcción, 5 años; 2,5 m ³ /s.
Un 100% de medición de las unidades con servicio en 2020	Expansión de la red de medidores para cubrir, en 2030, aproximadamente 200.000 usuarios con servicio pero sin medidor en 2015. Costo del medidor y de su instalación de US\$ 435. Se estima que la reducción del uso de agua al recibir un medidor es del 11%. ³
Caños de baño de bajo caudal (implementación en un 50%)	Costo unitario de US\$ 90; ahorros de agua del 25%; implementación en un 50% en Lima-Callao.; ciclo de vida de 15 años.
Duchas de bajo caudal (implementación en un 50%)	Costo unitario de US\$ 150; ahorros de agua del 40%; implementación en un 50% en Lima-Callao.; ciclo de vida de 15 años.
Inodoros de bajo caudal (implementación en un 50%)	Costo unitario de US\$ 300; ahorros de agua del 50%; implementación en un 50% en Lima-Callao.; ciclo de vida de 15 años.
Caños de cocina de bajo caudal (implementación en un 50%)	Costo unitario de US\$ 120; ahorros de agua del 15%; implementación en un 50% en Lima-Callao. ; ciclo de vida de 15 años.
Lavaplatos de alta eficiencia (implementación en un 25% en todos los hogares)	Costo unitario US\$ 500; ahorros de agua del 20%; implementación en un 25% en Lima-Callao.; ciclo de vida de 15 años.
Lavadoras de alta eficiencia (implementación en un 25% en todos los hogares)	Costo unitario de US\$ 525; ahorros de agua del 15%; implementación en un 25% en Lima-Callao.; ciclo de vida de 15 años.
Inodoros de aguas grises para hogares (100.000 en 2030)	Costo de capital de US\$ 300 por unidad; índice de reducción de agua del 9%; ⁴ 100.000 en 2030; ciclo de vida de 15 años.
Reconversión de aguas grises residenciales (50.000 hogares en 2030)	Costo promedio de capital de US\$ 1.685 por hogar; índice de reducción de agua del 35%; 50.000 reconversiones en 2030. ⁵
Reconversión de aguas grises comerciales (25.000 oficinas en 2030)	Costo de capital de US\$ 660 por unidad; índice de reducción de agua del 10%; 25.000 reconversiones en 2030. ⁵
Edificios residenciales verdes (25% de nuevas construcciones en el período 2015-2030)	Costo de capital adicional de US\$ 500; ahorros de agua del 40%; 25% de nuevas construcciones en el período 2015-2030. ⁶
Edificios comerciales verdes (25% de nuevas construcciones en el período 2015-2030)	Costo de capital adicional de US\$ 500; ahorros de agua del 20%; 25% de nuevas construcciones en el período 2015-2030. ⁷

¹ Información sobre la campaña “Culture of Water Campaign Launches in Peru” puede consultarse en el sitio web del Water and Sanitation Program (WSP). Disponible: <<http://www.wsp.org/featuresevents/features/culture-water-campaign-launches-peru>>.

² Worthington y Hoffmann (2006: 301); Kumar (2006).

³ Staddon (2010).

⁴ El índice de reducción de agua indica los ahorros totales en los hogares. En contraste, los ahorros de agua refieren solo a los ahorros de una unidad única respecto de una unidad estándar.

⁵ Allen, Christian-Smith y Palaniappan (2010).

⁶ Corporación Financiera Internacional (2013).

⁷ Evidence and Lessons from Latin America (2013).

Fuente: Fuente: Elaboración propia.

Anexo C: Clasificación de las medidas más costo efectivas.

En el Cuadro C1 se presenta la clasificación de las medidas más costo-efectivas.

Cuadro C1: Lima-Callao: clasificación de las medidas más costo-efectivas (valor presente neto en US\$ por tCO_{2e})¹

Sector	Medida	ktCO _{2e} 2015-2030	2014 US\$ por tCO _{2e}	2014 S/. por tCO _{2e}	Valor presente neto (en US\$ por tCO _{2e})	Costo de capital (valor presente neto) (en millones de US\$)	Ahorro de energía al 2030 (en millones de US\$)	Ahorro de energía (en MWh)	Repago (años)
Residencial	Reemplazo de gas licuado de petróleo por gas natural: 50% de los hogares conectados en 2020 (860.000 conexiones)	205,04	-3.300,71	-9.241,98	676,79	575,75	138,84	-2.881	4,15
Transporte	Campaña de teletrabajo	110,99	-2.380,29	-6.664,82	264,18	40,45	7,65	34.305	5,29
Transporte	Conversión de taxis a gasolina a gas natural	837,94	-1.836,99	-5.143,58	1.539,29	122,88	123,25	273.112	1,00
Transporte	Reemplazo de combis por ómnibus	5.485,22	-1.735,60	-4.859,68	9.520,16	372,14	574,11	79.038	0,65
Comercial	Normas de construcción verde en edificios comerciales	450,63	-1.103,69	-3.090,32	497,35	91,98	60,10	160.239,07	1,53
Transporte	Chatarrero de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por automóviles a gasolina	557,45	-1.075,93	-3.012,60	599,78	1.030,10	116,82	15.756,10	8,82
Transporte	Chatarrero de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por híbridos	683,01	-1.072,65	-3.003,43	732,63	1.471,57	157,34	19.283,25	9,35
Comercial	Reconversión térmica en edificios (gas natural, gas licuado de petróleo, diésel, gasolina)	951,16	-861,69	-2.412,74	819,61	139,70	186,86	286.021	0,75
Transporte	Conversión de automóviles a gas natural	559,88	-755,01	-2.114,02	422,72	150,83	58,57	51.765	7,22
Transporte	Desarrollo de ciclovías	100,84	-599,83	-1.679,51	60,49	42,08	5,27	33.626	7,98
Comercial	Programa de reconversión de electricidad en el sector comercial	352,27	-555,30	-1.554,85	195,62	44,41	36,76	244.728	1,21
Comercial	Programa de reconversión de electricidad en el sector público	90,25	-483,89	-1.354,89	43,67	6,16	7,62	50.739	0,81
Residencial	Calentadores de agua de alta eficiencia (EE1)	180,52	-437,42	-1.224,78	78,97	37,45	15,54	88.606	2,41
Residencial	Eliminación de luces incandescentes	2.408,59	-378,39	-1.059,50	673,72	41,17	107,89	615.088	0,38
Comercial	Alumbrado público: conversión a LED	294,27	-361,48	-1.012,14	106,37	182,97	14,02	7.369	13,05
Residencial	Programa de educación para la conservación de la electricidad	49,21	-309,76	-867,34	15,24	3,08	2,54	14.465	1,21
Residencial	Infraestructura avanzada de medición en el sector residencial (implementación en un 75%)	438,76	-282,36	-790,61	123,89	58,57	50,80	220.827	1,15
Residencial	Eliminación de luces incandescentes y 50% de iluminación basada en LED en 2020	4.268,31	-237,12	-663,93	738,67	103,54	126,57	721,596	0,82

Anexo C Continuación

Sector	Medida	ktCO _{2e} 2015-2030	2014 US\$ por tCO _{2e}	2014 S/. por tCO _{2e}	Valor presente neto (en US\$ por tCO _{2e})	Costo de capital (valor presente neto) (en millones de US\$)	Ahorro de energía al 2030 (en millones de US\$)	Ahorro de energía (en MWh)	Repago (años)
Residencial	Calentadores de agua de alta eficiencia (EE2)	151,74	-229,99	-643,97	34,90	62,95	13,06	74.480	4,82
Residencial	Calentadores solares de agua (5% en 2030) (escenario sin cambios)	296,44	-220,77	-618,16	133,58	42,36	22,59	128.772	1,88
Residencial	Calentadores solares de agua (10% en 2030) (escenario sin cambios)	592,88	-220,77	-618,16	267,16	84,71	45,17	257.544	1,88
Transporte	Sistema de buses de tránsito rápido	1.779,80	-205,62	-575,73	365,96	355,57	40,64	545.617	8,75
Commercial	Programa de reconversión de electricidad en centros comerciales	352,27	-203,93	-571,01	71,84	16,34	13,49	76.895	1,21
Residencial	Calentadores solares de agua (5% en 2030) (EE1)	234,61	-203,23	-569,05	95,03	42,36	17,05	97.210	2,48
Residencial	Calentadores solares de agua (10% en 2030) (EE1)	469,21	-203,23	-569,05	190,06	84,71	34,10	194.421	2,48
Residencial	Calentadores solares de agua (5% en 2030) (EE2)	202,01	-189,28	-530,00	72,95	42,36	13,42	76.508	3,16
Residencial	Calentadores solares de agua (10% en 2030) (EE2)	404,02	-189,28	-530,00	145,89	84,71	26,84	153.016	3,16
Industria	Infraestructura avanzada de medición en el sector industrial (implementación en un 75%)	1.121,05	-186,02	-520,85	208,54	7,20	59,03	578.841	0,12
Industria	Programa de reducción de carbono en el sector de refinería de petróleo	421,10	-179,46	-502,49	75,57	13,52	0,95	957.774	14,16
Comercial	Energía solar fotovoltaica en el sector comercial (con tarifas de alimentación garantizadas)	56,50	-174,27	-487,97	9,85	13,55	2,72	17.520	4,97
Residencial	Refrigeradores de alta eficiencia (EE1)	1.142,37	-162,68	-455,51	185,84	552,34	98,89	563.820	5,59
Comercial	Programa de reconversión de electricidad en hospitales	55,51	-155,39	-435,10	8,63	5,30	2,09	13.918	2,54
Transporte	Tributo de congestión para automóviles particulares a gasolina y a diésel	6.860,38	-153,50	-429,81	1.053,10	265,00	160,66	1.731.095	2,03
Comercial	Semáforos: conversión a LED	35,00	-144,74	-405,26	5,07	2,60	0,99	5.200	2,63
Industria	Conversión de calderas que pasan a utilizar gas natural	3.062,75	-143,48	-401,73	439,43	110,22	49,14	...	2,24
Industria	Conservación de electricidad en otros sectores industriales	3.392,85	-132,82	-371,89	450,64	107,50	3,69	1.624.503	29,14
Industria	Programa de reducción de carbono en la industria del etileno	1.231,94	-129,08	-361,41	159,01	15,82	1,87	2.669.372	8,47
Residencial	Edificios residenciales verdes (20% de nuevas construcciones en el período 2015-2030)	160,62	-109,84	-307,55	120,41	30,10	12,79	62.474	2,35
Electricidad	Diésel reemplazado por energía solar fotovoltaica (~160 MW en 2030)	916,16	-63,92	-178,98	471,60	231,11	73,38	1.212.231	3,56

Anexo C Continuación

Sector	Medida	ktCO _{2e} 2015-2030	2014 US\$ por tCO _{2e}	2014 S/. por tCO _{2e}	Valor presente neto (en US\$ por tCO _{2e})	Costo de capital (valor presente neto) (en millones de US\$)	Ahorro de energía al 2030 (en millones de US\$)	Ahorro de energía (en MWh)	Repago (años)
Industria	Programa de reducción de carbono en la industria siderúrgica	274,81	-49,74	-139,28	13,67	7,06	0,19	394.715,73	37,91
Electricidad	Diésel reemplazado por energía eólica (~130 MW en 2030)	916,16	-48,42	-135,57	357,21	212,80	54,00	1.212.231	3,94
Industria	Programa de reducción de carbono en la industria del cemento	923,99	-44,95	-125,87	41,54	23,73	0,67	758.468	35,41
Comercial	Calentadores solares de agua en el sector comercial	2.007,91	-35,36	-99,01	71,00	61,28	13,75	91.540	4,46
Comercial	Infraestructura avanzada de medición en el sector comercial (implementación en un 75%)	387,97	-11,90	-33,32	-4,62	134,35	37,47	182.605	3,59
Residuos	Captura de gas del relleno sanitario Portillo Grande para generación de energía	3.443,47	-2,53	-7,09	8,72	8,92	2,88	31.012	3,10
Residuos	Uso de residuos para generación de energía eléctrica (1.000 t por día)	3.079,39	0,05	0,13	-142,34	149,00	2,78	300.000	53,56
Residuos	Compostaje de residuos en hileras (100.000 t por año)	772,10	2,57	7,19	-1,98	4,95	0,19	--	26,00
Residencial	Energía solar fotovoltaica: meta de 10 MW por año (escenario sin cambios)	340,60	5,13	14,36	-3,58	216,76	26,16	139.818	8,29
Residuos	Quema de gas del relleno sanitario de Zapallal	133,94	5,98	16,74	-0,80	0,45	--	--	--
Electricidad	Carbón reemplazado por energía eólica (200 MW en 2030)	4.507,21	7,04	19,71	-255,49	774,21	28,98	4.529.712	26,72
Electricidad	Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del gas natural (~3.500 MW en 2030)	3.773,71	7,12	19,92	-216,24	601,30	27,96	6.669.036	21,50
Residencial	Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE1) (excluido el refrigerador)	1.180,26	10,70	29,97	-12,63	587,94	101,69	579.776	5,78
Electricidad	Carbón reemplazado por energía solar fotovoltaica (200 MW en 2030)	3.004,81	11,15	31,22	-269,82	756,14	24,45	4.529.712	30,92
Electricidad	Reconversión de carbón (~80 MW en 2030)	355,39	14,12	39,53	-40,40	102,23	5,21	535.744	19,63
Electricidad	Reconversión de gas natural (1.000 MW en 2030)	509,95	15,16	42,45	-62,26	173,00	8,04	1.917.434	21,52
Electricidad	1.000 MW de energía geotérmica (reemplaza al gas natural)	8.409,34	16,14	44,18	-1.092,80	2.460,00	59,64	14.861.270	41,25
Electricidad	2.000 MW de energía geotérmica (reemplaza al gas natural)	16.818,67	17,11	47,90	-2.317,20	5.420,00	141,63	34.415.432	38,27
Residencial	Energía solar fotovoltaica: meta de 20 MW por año (escenario sin cambios)	856,47	20,32	56,89	-28,17	433,51	52,32	279.636	8,29
Residuos	Planta de reciclaje: 261 kt de papel, madera y residuos industriales	682,52	20,99	58,77	-14,33	513,70	37,01	--	13,88

Appendix C Continued

Sector	Medida	ktCO _{2e} 2015-2030	2014 US\$ por tCO _{2e}	2014 S/. por tCO _{2e}	Valor presente neto (en US\$ por tCO _{2e}) ¹	Costo de capital (valor presente neto) (en millones de US\$)	Ahorro de energía al 2030 (en millones de US\$)	Ahorro de energía (en MWh)	Repago (años)
Residuos	Incineración de lodo de la planta de aguas residuales de Taboada para producir energía	3.275,78	27,45	76,85	-89,91	40,03	--	--	--
Residencial	Aires acondicionados de alta eficiencia (EE1)	575,47	35,41	99,16	-20,38	378,45	45,47	259.228	8,32
Electricidad	Gas reemplazado por energía eólica (200 MW en 2030)	1.344,57	35,64	99,80	-385,93	950,49	28,86	9.249.608	32,94
Electricidad	Gas reemplazado por energía solar fotovoltaica (200 MW en 2030)	1.344,57	42,82	119,90	-463,68	993,66	18,67	9.249.608	53,23
Residuos	Compostaje de residuos en cuba cerrada (100.000 t por año)	965,13	80,89	226,49	-78,07	80,13	3,00	--	26,71
Electricidad	Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del carbón (~130 MW en 2030)	116,38	99,34	278,15	-93,10	158,76	1,71	175.443	93,07
Residencial	Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE2) (excluido el refrigerador)	992,10	105,10	294,28	-104,27	991,78	85,48	487.348	11,60
Transporte	Inversiones en gestión del tráfico	1.672,45	117,97	330,30	-197,29	700,00	150,01	796.973	4,67
Transporte	Esquema híbrido: subsidio de US\$ 2.000 para el 10% de los automóviles nuevos	2.755,17	164,82	461,49	-454,10	1.706,50	152,76	1.381.952	11,17
Transporte	Reemplazo de taxis a diésel por gas natural comprimido	551,23	187,45	524,87	-103,33	80,65	2,27	189.113	35,51
Residencial	Aparatos de entretenimiento de alta eficiencia (EE1)	325,97	289,13	809,57	-94,25	291,10	23,86	136.029,18	12,20
Transporte	Reemplazo de taxis a diésel por híbridos	428,16	314,84	881,57	-134,80	161,29	6,13	147.009	26,33
Residencial	Refrigeradores de alta eficiencia (EE2)	960,25	320,82	898,30	-308,07	928,57	83,13	473.936	11,17
Residencial	Aires acondicionados de alta eficiencia (EE2)	483,73	692,23	1.938,23	-334,85	515,61	38,22	217.902	13,49
Residencial	Aparatos de entretenimiento de alta eficiencia (EE2)	274,00	1.283,17	3.592,88	-351,59	504,71	20,06	114.343	25,17
Residencial	Lavadoras de alta eficiencia (EE1)	61,37	4.507,44	12.620,84	-276,63	316,29	5,31	30.302	59,51
Residencial	Techos verdes en edificios de departamentos residenciales (10% de nuevas construcciones)	3,14	6.460,02	18.088,06	-2,40	64,10	0,19	1.073	340,54
Residencial	Lavadoras de alta eficiencia (EE2)	51,59	8.096,57	22.670,40	-417,68	460,83	4,47	25.471	103,15
Residencial	Techos verdes en casas pareadas (10% de nuevas construcciones)	9,55	14.462,17	40.494,09	-26,74	389,72	0,57	3.262	681,08

¹ Las medidas destacadas en color se superponen con otras medidas más costo efectivas que se han identificado.
Fuente: Elaboración propia.

Anexo D: Las medidas más eficientes para reducir las emisiones de carbono.

En el Cuadro D1 se presenta una clasificación de las medidas más eficientes para lograr reducciones de las emisiones de carbono.

Cuadro D1: Lima-Callao: clasificación de las medidas más eficientes para reducir las emisiones de carbono (en ktCO_{2e})

Sector	Medida	ktCO _{2e} 2015-2030	2014 US\$ por tCO _{2e}	2014S/ por tCO _{2e}	Valor presente neto (en US\$ por tCO _{2e})	Costo de capital (valor presente neto) (en millones de US\$)	Ahorro de energía 2030 (en millones de US\$)	Ahorro de energía (en MWh)	Repago (años)
Electricidad	2.000 MW de energía geotérmica (reemplaza al gas natural)	16.818,67	17,11	47,90	-2.317,20	5.420,00	141,63	34.415.432	38,27
Electricidad	1.000 MW de energía geotérmica (reemplaza al gas natural)	8.409,34	16,14	45,18	-1.092,80	2.460,00	59,64	14.861.270	41,25
Transporte	Tributo de congestión para automóviles particulares a gasolina y a diésel	6.860,38	-153,50	-429,81	1.053,10	265,00	160,66	1.731.095	2,03
Transporte	Reemplazo de combis por ómnibus	5.485,22	-1.735,60	-4.859,68	9.520,16	372,14	574,11	79.038	0,65
Electricidad	Carbón reemplazado por energía eólica (200 MW en 2030)	4.507,21	7,04	19,71	-255,49	774,21	28,98	4.529.712	26,72
Residencial	Eliminación de luces incandescentes y 50% de iluminación basada en LED en 2020	4.268,31	-237,12	-663,93	738,67	103,54	126,57	721.596	0,82
Electricidad	Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del gas natural (~3.500 MW en 2030)	3.773,71	7,12	19,92	-216,24	601,30	27,96	6.669.036	21,50
Residuos	Captura de gas del relleno sanitario Portillo Grande para generación de energía	3.443,47	-2,53	-7,09	8,72	8,92	2,88	31.012	3,10
Industria	Conservación de electricidad en otros sectores industriales	3.392,85	-132,82	-371,89	450,64	107,50	3,69	1.624.503,47	29,14
Residuos	Incineración de lodo de la planta de aguas residuales de Taboada para producir energía.	3.275,78	27,45	76,85	-89,91	40,03	--	--	--
Residuos	Uso de residuos para generación de energía eléctrica (1.000 t por día)	3.079,39	0,05	0,13	-142,34	149,00	2,78	300.000	53,56
Industria	Conversión de calderas que pasan a utilizar gas natural	3.062,75	-143,48	-401,73	439,43	110,22	49,14	...	2,24
Electricidad	Carbón reemplazado por energía solar fotovoltaica (200 MW en 2030)	3.004,81	11,15	31,22	-269,82	756,14	24,45	4.529.712	30,92
Transporte	Esquema híbrido: subsidio de US\$ 2.000 para el 10% de los automóviles nuevos	2.755,17	164,82	461,49	-454,10	1.706,50	152,76	1.381.952	11,17
Residencial	Eliminación de luces incandescentes	2.408,59	-378,39	-1.059,50	673,72	41,17	107,89	615.088	0,38
Comercial	Calentadores solares de agua en el sector comercial	2.007,91	-35,36	-99,01	71,00	61,28	13,75	91.540	4,46
Transporte	Sistema de buses de tránsito rápido	1.779,80	-205,62	-575,73	365,96	355,57	40,64	545.617	8,75
Transporte	Inversiones en gestión del tráfico	1.672,45	117,97	330,30	-197,29	700,00	150,01	796.973	4,67
Electricidad	Gas reemplazado por energía eólica (200 MW en 2030)	1.344,57	35,64	99,80	-385,93	950,49	28,86	9.249.608	32,94
Electricidad	Gas reemplazado por energía solar fotovoltaica (200 MW en 2030)	1.344,57	42,82	119,90	-463,68	993,66	18,67	9.249.608	53,23
Industria	Programa de reducción de carbono en la industria del etileno	1.231,94	-129,08	-361,41	159,01	15,82	1,87	2.669.372	8,47

Anexo D Continuación

Sector	Medida	ktCO _{2e} 2015-2030	2014 US\$ por tCO _{2e}	2014S/ por tCO _{2e}	Valor presente neto (en US\$ por tCO _{2e})	Costo de capital (valor presente neto) (en millones de US\$)	Ahorro de energía 2030 (en millones de US\$)	Ahorro de energía (en MWh)	Repago (años)
Residencial	Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE1) (excluido el refrigerador)	1.180,26	10,70	29,97	-12,63	587,94	101,69	579.776,04	5,78
Residencial	Refrigeradores de alta eficiencia (EE1)	1.142,37	-162,68	-455,51	185,84	552,34	98,89	563.821	5,59
Industria	Infraestructura avanzada de medición en el sector industrial (implementación en un 75%)	1.121,05	-186,02	-520,85	208,54	7,20	59,03	578.841	0,12
Residencial	Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE2) (excluido el refrigerador)	992,10	105,10	294,28	-104,27	991,78	85,48	487.348	11,60
Residuos	Compostaje de residuos en cuba cerrada (100.000 t por año)	965,13	80,89	226,49	-78,07	80,13	3,00	--	26,71
Residencial	Refrigeradores de alta eficiencia (EE2)	960,25	320,82	898,30	-308,07	928,57	83,13	473.936	11,17
Comercial	Reconversión térmica en edificios (gas natural, gas licuado de petróleo, diésel, gasolina)	951,16	-861,69	-2.412,74	819,61	139,70	186,86	286.021	0,75
Industria	Programa de reducción de carbono en la industria del cemento	923,99	-44,95	-125,87	41,54	23,73	0,67	758.468	35,41
Electricidad	Diésel reemplazado por energía eólica (~130 MW en 2030)	916,16	-48,42	-135,57	357,21	212,80	54,00	1.212.231	3,94
Electricidad	Diésel reemplazado por energía solar fotovoltaica (~160 MW en 2030)	916,16	-63,92	-178,98	471,60	231,11	73,38	1.212.231	3,56
Residencial	Energía solar fotovoltaica: meta de 20 MW por año (escenario sin cambios)	856,47	20,32	56,89	-28,17	433,51	52,32	279.636	8,29
Transporte	Conversión de taxis a gasolina a gas natural	837,94	-1.836,99	-5.143,58	1.539,29	122,88	123,25	273.112	1,00
Residuos	Compostaje de residuos en hileras (100.000 t por año)	772,10	2,57	7,19	-1,98	4,95	0,19	--	26,00
Transporte	Chatarrero de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por híbridos	683,01	-1.072,65	-3.003,43	732,63	1.471,57	157,34	19.283	9,35
Residuos	Planta de reciclaje: 261 kt de papel, madera y residuos industriales	682,52	20,99	58,77	-14,33	513,70	37,01	--	13,88
Residencial	Calentadores solares de agua (10% en 2030) (escenario sin cambios)	592,88	-220,77	-618,16	267,16	84,71	45,17	257.544	1,88
Residencial	Aires acondicionados de alta eficiencia (EE1)	575,47	35,41	99,16	-20,38	378,45	45,47	259.228	8,32
Transporte	Conversión de automóviles a gas natural comprimido	559,88	-755,01	-2.114,02	422,72	150,83	58,57	51.765	7,22
Transporte	Chatarrero de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por automóviles a gasolina	557,45	-1.075,93	-3.012,60	599,78	1.030,10	116,82	15.756	8,82
Transporte	Reemplazo de taxis a diésel por gas natural comprimido	551,23	187,45	524,87	-103,33	80,65	2,27	189.113	35,51
Electricidad	Reconversión de gas natural (1.000 MW en 2030)	509,95	15,16	42,45	-62,26	173,00	8,04	1.917.434	21,52

Anexo D Continuación

Sector	Medida	ktCO _{2e} 2015-2030	2014 US\$ por tCO _{2e}	2014S/. por tCO _{2e}	Valor presente neto (en US\$ por tCO _{2e})	Costo de capital (valor presente neto) (en millones de US\$)	Ahorro de energía 2030 (en millones de US\$)	Ahorro de energía (en MWh)	Repago (años)
Residencial	Aires acondicionados de alta eficiencia (EE2)	483,73	692,23	1.938,23	-334,85	515,61	38,22	217.901,99	13,49
Residencial	Calentadores solares de agua (10% en 2030) (EE1)	469,21	-203,23	-569,05	190,06	84,71	34,10	194.421	2,48
Comercial	Normas de construcción verde en edificios comerciales	450,63	-1.103,69	-3.090,32	497,35	91,98	60,10	160.239	1,53
Residencial	Infraestructura avanzada de medición en el sector residencial (implementación en un 75%)	438,76	-282,36	-790,61	123,89	58,57	50,80	220.827	1,15
Transporte	Reemplazo de taxis a diésel por híbridos	428,16	314,84	881,57	-134,80	161,29	6,13	147.009	26,33
Industria	Programa de reducción de carbono en el sector de refinería de petróleo	421,10	-179,46	-502,49	75,57	13,52	0,95	957.774	14,16
Residencial	Calentadores solares de agua (10% en 2030) (EE2)	404,02	-189,28	-530,00	145,89	84,71	26,84	153.016	3,16
Comercial	Infraestructura avanzada de medición en el sector comercial (implementación en un 75%)	387,97	-11,90	-33,32	-4,62	134,35	37,47	182.605	3,59
Electricidad	Reconversión de carbón (~80 MW en 2030)	355,39	14,66	41,04	-41,95	67,80	2,13	535.744	31,82
Comercial	Programa de reconversión de electricidad en el sector comercial	352,27	-555,30	-1.554,85	195,62	44,41	36,76	244.728	1,21
Comercial	Programa de reconversión de electricidad en centros comerciales	352,27	-203,93	-571,01	71,84	16,34	13,49	76.895	1,21
Residencial	Energía solar fotovoltaica: meta de 10 MW por año (escenario sin cambios)	340,60	5,13	14,36	-3,58	216,76	26,16	139.818	8,29
Residencial	Aparatos de entretenimiento de alta eficiencia (EE1)	325,97	289,13	809,57	-94,25	291,10	23,86	136.029	12,20
Residencial	Calentadores solares de agua (5% en 2030) (escenario sin cambios)	296,44	-220,77	-618,16	133,58	42,36	22,59	128.772	1,88
Comercial	Alumbrado público: conversión a LED	294,27	-361,48	-1.012,14	106,37	182,97	14,02	7.369	13,05
Industria	Programa de reducción de carbono en la industria siderúrgica	274,81	-49,74	-139,28	13,67	7,06	0,19	394.716	37,91
Residencial	Aparatos de entretenimiento de alta eficiencia (EE2)	274,00	1.283,17	3.592,88	-351,59	504,71	20,06	114.343	25,17
Residencial	Calentadores solares de agua (5% en 2030) (EE1)	234,61	-203,23	-569,05	95,03	42,36	17,05	97.210	2,48
Residencial	Reemplazo de gas licuado de petróleo por gas natural: 50% de los hogares conectados en 2020 (860.000 conexiones)	205,04	-3.300,71	-9.241,98	676,79	575,75	138,84	-2.881	4,15

Anexo D Continuación

Sector	Medida	ktCO _{2e} 2015-2030	2014 US\$ por tCO _{2e}	2014S/. por tCO _{2e}	Valor presente neto (en US\$ por tCO _{2e})	Costo de capital (valor presente neto) (en millones de US\$)	Ahorro de energía 2030 (en millones de US\$)	Ahorro de energía (en MWh)	Repago (años)
Residencial	Calentadores solares de agua (5% en 2030) (EE2)	202,01	-189,28	-530,00	72,95	42,36	13,42	76.508	3,16
Residencial	Calentadores de agua de alta eficiencia (EE1)	180,52	-437,42	-1.224,78	78,97	37,45	15,54	88.606	2,41
Residencial	Edificios residenciales verdes (20% de nuevas construcciones en el período 2015-2030)	160,62	-109,84	-307,55	120,41	30,10	12,79	62.474	2,35
Residencial	Calentadores de agua de alta eficiencia (EE2)	151,74	-229,99	-643,97	34,90	62,95	13,06	74.480,33	4,82
Residuos	Quema de gas del relleno sanitario de Zapallal	133,94	5,98	16,74	-0,80	0,45	--	--	--
Electricidad	Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del carbón (~130 MW en 2030)	116,38	99,34	278,15	-93,10	158,76	1,71	175.443	93,07
Transporte	Campaña de teletrabajo	110,99	-2.380,29	-6.664,82	264,18	40,45	7,65	34.305	5,29
Transporte	Desarrollo de ciclovías	100,84	599,83	1.679,51	60,49	42,08	5,27	33.626,24	7,98
Comercial	Programa de reconversión de electricidad en el sector público	90,25	483,89	1.354,89	43,67	6,16	7,62	50.739,17	0,81
Residencial	Lavadoras de alta eficiencia (EE1)	61,37	4.507,44	12.620,84	276,63	316,29	5,31	30.301,77	59,51
Comercial	Energía solar fotovoltaica en el sector comercial (con tarifas de alimentación garantizadas)	56,50	174,27	487,97	9,85	13,55	2,72	17.520,00	4,97
Comercial	Programa de reconversión de electricidad en hospitales	55,51	155,39	435,10	8,63	5,30	2,09	13.917,83	2,54
Residencial	Lavadoras de alta eficiencia (EE2)	51,59	8.096,57	22.670,40	417,68	460,83	4,47	25.471,05	103,15
Residencial	Programa de educación para la conservación de la electricidad	49,21	309,76	867,34	15,24	3,08	2,54	14.464,77	1,21
Comercial	Semáforos: conversión a LED	35,00	144,74	405,26	5,07	2,60	0,99	5.200,00	2,63
Residencial	Techos verdes en casas pareadas (10% de nuevas construcciones)	9,55	14.462,17	40.494,09	26,74	389,72	0,57	3.262,28	681,08
Residencial	Techos verdes en edificios de departamentos residenciales (10% de nuevas construcciones)	3,14	6.460,02	18.088,06	2,40	64,10	0,19	1.073,19	340,54

Fuente: Elaboración propia.

Anexo E:

Urbanización con bajo nivel de carbono

Sobre la base de las medidas delineadas en la sección principal del informe, a continuación se considera el impacto de establecer una ecozona similar a la Villa El Salvador,⁴³ establecida en la actualidad. Este tipo de desarrollo podría dar lugar a la implementación de un número significativo de opciones de mitigación en una única área concentrada. Además de los impactos complementarios producidos por las diferentes medidas (por ejemplo, edificios ecológicos que favorezcan la adopción de LED), un desarrollo de esta magnitud tendría la envergadura suficiente como para producir economías de escala, lo que derivaría en una reducción de los costos.

Si bien la estimación del impacto total de la ecozona se ve afectada por superposiciones importantes entre las distintas medidas, si se parte del supuesto de que el sitio cubre 500 ha y tiene una población estimada de 33.500

habitantes, puede esperarse que la implementación de las medidas de mitigación que se enumeran seguidamente produzca los siguientes resultados:

- Reducciones de emisiones de 0,54tCO_{2e} per cápita y de 17,9 ktCO_{2e} en toda la ecozona.
- Ahorros de energía de US\$ 324 por habitante por año o de US\$ 10.900.000 por año en toda la ecozona.
- Ahorros de agua de 115 m³ por año por habitante, o de más de 3.800.000 m³ en toda la ecozona.

En el Cuadro E1 se enumera un conjunto de medidas clave derivadas del análisis presentado en este informe que deberían tenerse en cuenta para el desarrollo de una ecozona.

Cuadro E1: Lima-Callao: medidas clave de mitigación de carbono para una ecozona: reducción de emisiones en el período 2015-2030 (en ktCO_{2e}), costo efectividad (US\$ por tCO_{2e}), costo de la inversión (valor presente neto en millones de US\$) y período de repago (años)¹

Sector	Medida	Reducción de emisiones 2015-2030 (en ktCO _{2e})	Costo efectividad (en US\$ por tCO _{2e}) (base 2014)	Costo de la inversión (valor presente neto en millones de US\$)	Repago (años)
Transporte	Campaña de teletrabajo	111,0	-2.380,3	40,5	5,3
Transporte	Reemplazo de combis por ómnibus	5.485,2	-1.735,6	372,1	0,6
Comercial	Normas de construcción verde en edificios comerciales	450,6	-1.103,7	92,0	1,5
Transporte	Desarrollo de ciclovías	100,8	-599,8	42,1	8,0
Residencial	Calentadores de agua de alta eficiencia (EE1)	180,5	-437,4	37,4	2,4
Residencial	Programa de educación para la conservación de la electricidad	49,2	-309,8	3,1	1,2
Residencial	Eliminación de luces incandescentes y 50% de iluminación basada en LED en 2020	4.268,3	-237,1	103,5	0,8
Residencial	10% de agua caliente generada con energía solar en 2030 (escenario sin cambios)	592,9	-220,8	84,7	1,9
Transporte	Sistema de tránsito rápido de buses	1.779,8	-205,6	355,6	8,7
Comercial	Energía solar para el sector comercial (con tarifas subsidiadas)	56,5	-174,3	13,5	5,0
Residencial	Refrigeradores de alta eficiencia (EE1)	1.142,4	-162,7	552,3	5,6

⁴³ Véase el borrador de NAMA para el sector de transporte elaborado por Tyler y Ramirez (2012).

Cuadro E1 Continuación

Sector	Medida	Reducción de emisiones 2015-2030 (en ktCO _{2e})	Costo efectividad (en US\$ por tCO _{2e}) (base 2014)	Costo de la inversión (valor presente neto en millones de US\$)	Repago (años)
Residencial	Edificios residenciales verdes (20% de nuevas construcciones en el período 2015-2030)	160,6	-109,8	30,1	2,4
Comercial	Agua caliente generada con energía solar para el sector comercial	2.007,9	-35,4	61,3	4,5
Residencial	Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE1) (excluido el refrigerador)	1.180,3	10,7	587,9	5,8
Residencial	Energía solar: meta de 20 MW por año (escenario sin cambios)	856,5	20,3	433,5	8,3
Residencial	Aires acondicionados de alta eficiencia (EE1)	575,5	35,4	378,4	8,3
Residencial	Aparatos de entretenimiento de alta eficiencia (EE1)	326,0	289,1	291,1	12,2
Residencial	Lavadoras de alta eficiencia (EE1)	61,4	4.507,4	316,3	59,5
Residencial	Techos verdes en edificios de departamentos residenciales (10% de nuevas construcciones)	3,1	6.460,0	64,1	340,5
Residencial	Techos verdes en casas pareadas (10% de nuevas construcciones)	9,5	14.462,2	389,7	681,1

¹ Medidas de ahorro de energía para la ecozona propuesta, aplicables a toda la ciudad de Lima-Callao.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro E2: Lima-Callao: medidas clave relativas al uso eficiente del agua: ahorros de agua en el período 2015-2030 (en millones de m³), costo efectividad (US\$ por m³), costo de la inversión (valor presente neto en millones de US\$) y período de repago (años).¹

Medida	Ahorros de agua 2015-2025 (en millones de m ³)	Costo efectividad (en US\$ por m ³) (base 2014)	Costo de la inversión (valor presente neto en millones de US\$)	Repago (años)
Caños de baño de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares)	161	0,29	131,3	28,1
Duchas de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares)	649	-0,16	218,9	11,7
Inodoros de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares)	793	-0,05	364,8	15,9
Caños de cocina de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares)	157	0,05	87,5	19,3
Lavaplatos de alta eficiencia (implementación en un 25% en todos los hogares)	51	6,33	364,8	247,0
Lavadoras de alta eficiencia (implementación en un 25% en todos los hogares)	71	4,63	383,0	185,3

¹ Medidas de ahorro de energía para la ecozona propuesta, aplicables a toda la ciudad de Lima-Callao.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo F: Ranking de las medidas más atractivas.

En este apartado se incluyen dos cuadros en que se presentan los rankings de las medidas destinadas a generar ahorro de emisiones y de agua, evaluadas según diversos criterios.

Cuadro F1: Lima-Callao: rankings de las medidas más atractivas¹ en materia de ahorros de carbono clasificadas según costo efectividad, eficiencia en la reducción de emisiones de carbono y evaluación multicriterio.²

Sector	Medida	Costo efectividad		Eficiencia en reducción de carbono
		Ranking	Ratio A (ranking de costo efectividad/ número total de medidas)	Ranking
Transporte	Reemplazo de combis por ómnibus	4	0,05	4
Residencial	Eliminación de luces incandescentes y 50% de iluminación basada en LED en 2020	18	0,23	6
Energía eléctrica	2.000 MW de energía geotérmica (reemplaza al gas natural)*	57	0,73	1
Residencial	Reemplazo de gas licuado de petróleo por gas natural: 50% de los hogares conectados en 2020 (860.000 conexiones)*	1	0,01	61
Transporte	Conversión de taxis a gasolina a gas natural comprimido	3	0,04	33
Residencial	Eliminación de luces incandescentes	14	0,18	15
Energía eléctrica	1.000 MW de energía geotérmica (reemplaza al gas natural)*	56	0,72	2
Transporte	Tránsito rápido de buses	22	0,28	17
Transporte	Campaña de teletrabajo	2	0,03	68
Transporte	Tributo de congestión para automóviles particulares a gasolina y a diésel	33	0,42	3
Comercial	Conversión térmica (gas natural, gas licuado de petróleo, diésel, nafta) en edificios	8	0,10	28
Transporte	Conversión de automóviles a gas natural comprimido	9	0,12	39
Comercial	Agua caliente generada con energía solar para el sector comercial	43	0,55	16
Transporte	Chatarrero de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por automóviles a gasolina	6	0,08	40
Industria	Conservación de electricidad en otros sectores industriales*	36	0,46	9
Transporte	Chatarrero de automóviles de más de 20 años de antigüedad y reemplazo por híbridos	7	0,09	35
Energía eléctrica	Reemplazo de carbón por energía solar (200 MW en 2030)	53	0,68	13
Energía eléctrica	Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del gas natural (~3.500 MW en 2030)	51	0,65	7
Comercial	Normas de construcción verde en edificios comerciales	5	0,06	45
Energía eléctrica	Carbón reemplazado por energía eólica (200 MW en 2030)	50	0,64	5
Industria	Cambio de calderas que pasan a utilizar gas natural*	35	0,45	12
Comercial	Programa de reconversión de energía eléctrica en el sector comercial	11	0,14	52
Residuos	Uso de residuos para generación de energía eléctrica (1.000 t por día)*	46	0,59	11
Energía eléctrica	Reemplazo de diésel por energía solar (~160 MW en 2030)	39	0,50	30

Eficiencia de reducción de carbono	Evaluación multicriterio			Calificación = A*B*C	Ranking General
	Ratio B (ranking de eficiencia en reducción de carbono/número total de medidas)	Ranking	Número en el sector			Ratio C (ranking multicriterio/número total en el sector)
0,05	4	6	0,67	0,002	1
0,08	1	4	0,25	0,004	2
0,01	--	--	0,50	0,005	3
0,78	--	--	0,50	0,01	4
0,42	2	6	0,33	0,01	5
0,19	1	4	0,25	0,01	6
0,03	--	--	0,50	0,01	7
0,22	1	6	0,17	0,01	8
0,87	3	6	0,50	0,01	9
0,04	6	6	1,00	0,02	10
0,36	2	4	0,50	0,02	11
0,50	2	6	0,33	0,02	12
0,21	1	5	0,20	0,02	13
0,51	4	6	0,67	0,03	14
0,12	--	--	0,50	0,03	15
0,45	4	6	0,67	0,03	16
0,17	1	4	0,25	0,03	17
0,09	2	4	0,50	0,03	18
0,58	4	5	0,80	0,03	19
0,06	3	4	0,75	0,03	20
0,15	--	--	0,50	0,03	21
0,67	2	5	0,40	0,04	22
0,14	--	--	0,50	0,04	23
0,38	1	4	0,25	0,05	24

Sector	Medida	Costo efectividad		Eficiencia en reducción de carbono
		Ranking	Ratio A (ranking de costo efectividad/ número total de medidas)	Ranking
Energía eléctrica	Gas reemplazado por energía solar (200 MW en 2030)	63	0,81	19
Residuos	Incineración de lodo de la planta de aguas residuales de Taboada para producir energía*	60	0,77	10
Transporte	Esquema híbrido: subsidio de US\$ 2.000 para el 10% de los automóviles nuevos	68	0,87	14
Comercial	Programa de reconversión de energía eléctrica en el sector público	12	0,15	70
Industria	Infraestructura avanzada de medición en el sector industrial (implementación en un 75%)*	28	0,36	24
Transporte	Desarrollo de ciclovías	10	0,13	69
Residencial	Refrigeradores de alta eficiencia (EE1)	31	0,40	23
Residuos	Captura de gas del relleno sanitario Portillo Grande para generación de energía	45	0,58	8
Industria	Programa de reducción de carbono en la industria del etileno*	37	0,47	21
Residencial	Infraestructura de medición avanzada en el sector residencial (implementación en un 75%)*	17	0,22	46
Residencial	Calentadores de agua de alta eficiencia (EE1)	13	0,17	63
Residencial	Energía solar: meta de 20 MW por año (escenario sin cambios)	58	0,74	32
Comercial	Programa de reconversión de energía eléctrica en el sector de centros comerciales	23	0,29	53
Comercial	Energía solar para el sector comercial (con tarifas subsidiadas)	30	0,38	72
Residencial	Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE1) (excluido el refrigerador)	52	0,67	22
Transporte	Inversiones en gestión del tráfico*	67	0,86	18
Industria	Programa de reducción de carbono en la industria del cemento*	42	0,54	29
Residencial	Calentadores de agua de alta eficiencia (EE2)	19	0,24	65
Comercial	Semáforos: conversión a LED	34	0,44	76
Residencial	Energía solar: meta de 10 MW por año (escenario sin cambios)	48	0,62	54
Industria	Programa de reducción de carbono en el sector de refinería de petróleo*	29	0,37	48
Residencial	10% de agua caliente generada con energía solar en 2030 (escenario sin cambios)	20	0,26	37
Residuos	Compostaje de residuos en hileras (100.000 t por año)	47	0,60	34
Residencial	Electrodomésticos de cocina de alta eficiencia (EE2) (excluido el refrigerador)	66	0,85	25
Residuos	Compostaje de residuos en cuba cerrada (100.000 t por año)	64	0,82	26
Comercial	Alumbrado público: conversión a LED	15	0,19	57
Residencial	Programa de educación para la conservación de la electricidad	16	0,21	75
Energía eléctrica	Gas reemplazado por energía eólica (200 MW en 2030)	62	0,79	20

Eficiencia de reducción de carbono	Evaluación multicriterio			Calificación = A*B*C	Ranking General
	Ratio B (ranking de eficiencia en reducción de carbono/número total de medidas)	Ranking	Número en el sector		
0,24	1	4	0,25	0,05	25
0,13	--	--	0,50	0,05	26
0,18	2	6	0,33	0,05	27
0,90	2	5	0,40	0,06	28
0,31	--	--	0,50	0,06	29
0,88	3	6	0,50	0,06	30
0,29	2	4	0,50	0,06	31
0,10	2	2	1,00	0,06	32
0,27	--	--	0,50	0,06	33
0,59	--	--	0,50	0,06	34
0,81	2	4	0,50	0,07	35
0,41	1	4	0,25	0,08	36
0,68	2	5	0,40	0,08	37
0,92	1	4	0,25	0,09	38
0,28	2	4	0,50	0,09	39
0,23	--	--	0,50	0,10	40
0,37	--	--	0,50	0,10	41
0,83	2	4	0,50	0,10	42
0,97	1	4	0,25	0,11	43
0,69	1	4	0,25	0,11	44
0,62	--	--	0,50	0,11	45
0,47	4	4	1,00	0,12	46
0,44	1	2	0,50	0,13	47
0,32	2	4	0,50	0,14	48
0,33	1	2	0,50	0,14	49
0,73	5	5	1,00	0,14	50
0,96	3	4	0,75	0,15	51
0,26	3	4	0,75	0,15	52

Sector	Medida	Costo efectividad		Eficiencia en reducción de carbono
		Ranking	Ratio A (ranking de costo efectividad/número total de medidas)	Ranking
Comercial	Programa de reconversión de energía eléctrica en hospitales	32	0,41	73
Transporte	Reemplazo de taxis a diésel por gas natural comprimido	69	0,88	41
Energía eléctrica	Diésel reemplazado por energía eólica (~130 MW en 2030)	41	0,53	31
Residencial	Refrigeradores de alta eficiencia (EE2)	72	0,92	27
Residencial	10% de agua caliente generada con energía solar en 2030 (EE1)	24	0,31	44
Residuos	Planta de reciclaje: 261 kt de papel, madera y residuos industriales	59	0,76	36
Comercial	Infraestructura avanzada de medición en el sector comercial (implementación en un 75%)*	44	0,56	50
Transporte	Reemplazo de taxis a diésel por híbridos	71	0,91	47
Energía eléctrica	Reconversión a gas natural (1.000 MW en 2030)	55	0,71	42
Residencial	Aires acondicionados de alta eficiencia (EE1)	61	0,78	38
Industria	Programa de reducción de carbono en la industria siderúrgica*	40	0,51	58
Residencial	5% de agua caliente generada con energía solar en 2030 (escenario sin cambios)	21	0,27	56
Residencial	10% de agua caliente generada con energía solar en 2030 (EE2)	26	0,33	49
Residencial	5% de agua caliente generada con energía solar en 2030 (EE1)	25	0,32	60
Residencial	Aires acondicionados de alta eficiencia (EE2)	73	0,94	43
Residencial	5% de agua caliente generada con energía solar en 2030 (EE2)	27	0,35	62
Residencial	Aparatos de entretenimiento de alta eficiencia (EE1)	70	0,90	55
Residencial	Aparatos de entretenimiento de alta eficiencia (EE2)	74	0,95	59
Residencial	Edificios residenciales verdes (20% de nuevas construcciones en el período 2015-2030)	38	0,49	64
Residencial	Lavadoras de alta eficiencia (EE1)	75	0,96	71
Energía eléctrica	Reconversión a carbón (~80 MW en 2030)	54	0,69	51
Residencial	Lavadoras de alta eficiencia (EE2)	77	0,99	74
Residuos	Quema de gas del relleno sanitario de Zapallal	49	0,63	66
Energía eléctrica	Mejor tecnología disponible para el aprovechamiento del carbón (~130 MW en 2030)	65	0,83	67
Residencial	Techos verdes en edificios de departamentos residenciales (10% de nuevas construcciones)	76	0,97	78
Residencial	Techos verdes en casas separadas (10% de nuevas construcciones)	78	1,00	77

¹ Todos los sectores fueron considerados en la evaluación realizada para establecer los diferentes rankings presentados en este cuadro.

² Cabe aclarar que el sector industrial no se incluyó en la evaluación multicriterio y que algunas medidas se agruparon. En los casos en que fue posible, a estas medidas se les asignó el valor de una medida comparable, o bien se les otorgó un puntaje de 0,5 en el análisis multicriterio (medidas marcadas con un asterisco (*)).

Fuente: Elaboración propia.

Eficiencia de reducción de carbono	Evaluación multicriterio			Calificación = A*B*C	Ranking General
	Ratio B (ranking de eficiencia en reducción de carbono/número total de medidas)	Ranking	Número en el sector		
0,94	2	5	0,40	0,15	53
0,53	2	6	0,33	0,15	54
0,40	3	4	0,75	0,16	55
0,35	2	4	0,50	0,16	56
0,56	4	4	1,00	0,17	57
0,46	1	2	0,50	0,17	58
0,64	--	--	0,50	0,18	59
0,60	2	6	0,33	0,18	60
0,54	2	4	0,50	0,19	61
0,49	2	4	0,50	0,19	62
0,74	--	--	0,50	0,19	63
0,72	4	4	1,00	0,19	64
0,63	4	4	1,00	0,21	65
0,77	4	4	1,00	0,25	66
0,55	2	4	0,50	0,26	67
0,79	4	4	1,00	0,28	68
0,71	2	4	0,50	0,32	69
0,76	2	4	0,50	0,36	70
0,82	4	4	1,00	0,40	71
0,91	2	4	0,50	0,44	72
0,65	4	4	1,00	0,45	73
0,95	2	4	0,50	0,47	74
0,85	2	2	1,00	0,53	75
0,86	4	4	1,00	0,72	76
1,00	4	4	1,00	0,97	77
0,99	4	4	1,00	0,99	78

Cuadro F2: Lima-Callao: rankings totales de medidas orientadas al ahorro de agua según la eficiencia en el uso del agua, costo efectividad y ranking multicriterio

Sector	Medida	Ranking de eficiencia en el uso del agua		
		2015-2025 Millones de m ³	Ranking	Ratio A (ranking/número en el sector=31)
Demanda	Rehabilitación de la red primaria	1.734,5	1	0,03
Oferta	Pomacocha-Río Blanco	1.734,5	2	0,06
Oferta	Reservorio del río Chillón	919,3	3	0,10
Demanda	15% de incremento de las tarifas de agua del sector comercial	22,9	27	0,87
Demanda	18% de incremento de las tarifas de agua del sector comercial	27,5	26	0,84
Demanda	15% de incremento de la tarifa de agua residencial	326,6	13	0,42
Oferta	Recanalización del río Rímac	867,2	4	0,13
Demanda	18% de incremento de la tarifa de agua residencial	391,9	12	0,39
Oferta	Represa de Casacancha junto con Marca III	624,4	7	0,23
Demanda	100% de las unidades con servicio medido en 2020	14,8	29	0,94
Oferta	Reservorio de Autisha	416,3	11	0,35
Demanda	Duchas de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares)	648,6	6	0,19
Oferta	Extensión del túnel Graton	520,3	9	0,29
Demanda	Inodoros de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares)	793,1	5	0,16
Demanda	Programa de educación para la conservación del agua	52,4	21	0,68
Demanda	Edificios residenciales verdes (25% de nuevas construcciones en el período 2015-2030)	103,5	19	0,61
Oferta	Desalinización del agua de mar en el mar del sur	520,3	8	0,26
Demanda	Edificios comerciales verdes (25% de nuevas construcciones en el período 2015-2030)	22,7	28	0,90
Demanda	18% de incremento de las tarifas de agua del sector industrial	42,2	23	0,74
Demanda	15% de incremento de las tarifas de agua del sector industrial	35,2	25	0,81
Demanda	Caños de cocina de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares)	156,5	16	0,52
Oferta	Pozos de la cuenca del río Chancay (2040)	236,5	14	0,45
Demanda	Reconversión de aguas grises residenciales (50.000 unidades en 2030)	147,0	17	0,55
Oferta	Recarga del acuífero	441,5	10	0,32

	Costo Efectividad		Evaluación multicriterio		Ranking general		
	US\$ por m ³ (base 2014)	Ranking	Ratio B (ranking/número en el sector=31)	Ranking	Ratio C (ranking/número en el sector=9)	Calificación= A*B*C	Ranking
	0,03	11	0,35	4,00	0,44	0,005	1
	0,15	18	0,58	2,00	0,22	0,008	2
	0,07	13	0,42	2,00	0,22	0,009	3
	-7,83	1	0,03	3,00	0,33	0,009	4
	-7,79	2	0,06	3,00	0,33	0,018	5
	-1,40	4	0,13	3,00	0,33	0,018	6
	0,19	20	0,65	2,00	0,22	0,018	7
	-1,39	5	0,16	3,00	0,33	0,021	8
	0,09	15	0,48	2,00	0,22	0,024	9
	-1,67	3	0,10	4,00	0,44	0,040	10
	0,09	16	0,52	2,00	0,22	0,041	11
	-0,16	7	0,23	9,00	1,00	0,044	12
	0,24	21	0,68	2,00	0,22	0,044	13
	-0,05	10	0,32	9,00	1,00	0,052	14
	0,49	26	0,84	1,00	0,11	0,063	15
	-0,14	8	0,26	9,00	1,00	0,158	16
	0,43	25	0,81	7,00	0,78	0,162	17
	-0,52	6	0,19	9,00	1,00	0,175	18
	0,42	24	0,77	3,00	0,33	0,191	19
	0,41	23	0,74	3,00	0,33	0,199	20
	0,05	12	0,39	9,00	1,00	0,200	21
	0,14	17	0,55	8,00	0,89	0,220	22
	0,08	14	0,45	9,00	1,00	0,248	23
	0,73	29	0,94	8,00	0,89	0,268	24

Cuadro F2. Continuación

Sector	Medida	Ranking de eficiencia en el uso del agua		
		2015-2025 Millones de m ³	Ranking	Ratio A (ranking/número en el sector=31)
Demanda	Reconversión de aguas grises comerciales (25.000 unidades en 2030)	12,2	30	0,97
Demanda	Caños de baño de bajo caudal (implementación en un 50% en todos los hogares)	161,1	15	0,48
Oferta	Recarga del acuífero correspondiente al río Lurín	138,8	18	0,58
Demanda	Inodoros residenciales de aguas grises (100.000 en 2030)	37,8	24	0,77
Demanda	Lavadoras de alta eficiencia (implementación en un 25% en todos los hogares)	71,4	20	0,65
Oferta	Atrapanieblas	2,9	31	1,00
Demanda	Lavaplatos de alta eficiencia (implementación en un 25% en todos los hogares)	51,0	22	0,71

Fuente: Elaboración propia.

Costo Efectividad			Evaluación multicriterio		Ranking general	
US\$ por m ³ (base 2014)	Ranking	Ratio B (ranking/número en el sector=31)	Ranking	Ratio C (ranking/número en el sector=9)	Calificación= A*B*C	Ranking
-0,08	9	0,29	9,00	1,00	0,281	25
0,29	22	0,71	9,00	1,00	0,343	26
0,52	27	0,87	8,00	0,89	0,450	27
0,15	19	0,61	9,00	1,00	0,475	28
4,63	30	0,97	9,00	1,00	0,624	29
0,66	28	0,90	7,00	0,78	0,703	30
6,33	31	1,00	9,00	1,00	0,710	31

Anexo G: Barreras actuales y cambios propuestos por sector.

En este apartado se presenta un cuadro en que se mencionan las barreras clave que dificultan el logro de un desarrollo bajo en carbono (clasificadas por sector), y se proponen cambios y acciones para superar dichas barreras.

Cuadro G1: Lima-Callao: barreras clave y cambios propuestos por sector para lograr un desarrollo bajo en carbono.

Sector	Barrera	Cambios propuestos
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> — Falta de mecanismos que cumplan con las normas internacionales en materia de emisiones. — Falta de combustibles más limpios. — El sistema impositivo que grava los automotores no favorece actualmente el uso de vehículos o de combustibles con baja emisión de carbono. — Falta de planificación a largo plazo que permita el desarrollo de una red de transporte urbana eficiente (incluidas las conexiones entre las distintas infraestructuras de transporte público). — La disponibilidad de lugares de estacionamiento favorece el uso de automóviles particulares en la ciudad. — Falta de instituciones adecuadas para la gestión de la red de transporte urbano y de los sistemas de transporte público. En la actualidad resulta difícil la coordinación entre los más de 50 municipios. 	<ul style="list-style-type: none"> — Implementar campañas educativas para alentar el uso de métodos de transporte de baja generación de carbono. — Crear un esquema impositivo en materia de automotores y combustibles que favorezca la adopción de métodos de transporte de baja generación de carbono. — De ser posible, tener presentes los futuros desarrollos de infraestructura y revisar las regulaciones actuales en materia de tráfico, de forma tal de priorizar las opciones de transporte público de baja generación de carbono. — Crear una autoridad municipal de transporte responsable de la gestión de los sistemas y las redes de transporte en toda la ciudad.
Agua	<ul style="list-style-type: none"> — Falta de concientización respecto de la importancia de minimizar el uso de agua. — El sector cuenta con limitadas fuentes de financiamiento para llevar a cabo las inversiones necesarias. — Cuestiones políticas vinculadas con el acceso al agua (y con el uso informal de este recurso), en especial en lo que respecta a los habitantes urbanos de menores recursos. — Falta de confianza de la sociedad en las empresas del sector. 	<ul style="list-style-type: none"> — Implementar un programa educativo sobre el uso eficiente del agua en la ciudad. — Asegurar una gestión eficaz del agua aguas arriba mediante el establecimiento de un enfoque de gestión que comprenda a toda la cuenca. — Crear las condiciones para que las alianzas público-privadas puedan obtener mayor financiamiento (tener en cuenta también la posibilidad de que los usuarios contribuyan a sufragar los costos a través de aumentos de tarifas o de los pagos por servicios ecosistémicos). — Crear una comunidad de partes interesadas para permitir que estas participen en el proceso de toma de decisiones.
Residuos	<ul style="list-style-type: none"> — Informalidad de los sistemas de recolección y reciclaje de residuos. — Cuestiones relacionadas con retrasos en el pago de impuestos municipales a los operadores. — La gestión de residuos en toda la ciudad está fragmentada entre los más de 50 municipios. — Falta de voluntad política para introducir cambios significativos en este sector. — Falta de concientización respecto de la necesidad de reciclar y falta de aceptación de los costos de eliminación de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> — Crear una autoridad y una estrategia de gestión de residuos en toda la ciudad con representación de las partes interesadas consideradas clave. — Fortalecer la regulación en materia de gestión de residuos. — Implementar campañas de educación y concientización respecto de las formas de minimizar las opciones de producción y tratamiento de residuos para la ciudad.
Energía e industria	<ul style="list-style-type: none"> — Los actores que ingresan al sector deben gestionarse en forma diferente en comparación con las grandes organizaciones existentes en la actualidad. — Falta de regulaciones y de su aplicación en el sector. — La falta de conocimiento sobre opciones clave en materia de energías renovables en el Perú obstaculiza su uso. — Debilidad de los objetivos fijados en materia de energías renovables y de los correspondientes incentivos para individuos u organizaciones. Además, existe un problema respecto de cuánta energía renovable es capaz de aceptar la red. — Falta de estudios de factibilidad para alentar la inversión. 	<ul style="list-style-type: none"> — Facilitar la transición hacia opciones de generación de energía con bajo nivel de carbono a través de políticas públicas y del uso de incentivos para las empresas generadoras. — Procurar un mayor compromiso de las partes interesadas en el proceso de toma de decisiones en materia de energía. — Mejorar la eficiencia y la innovación dentro del sector industrial mediante la transferencia de conocimiento. — Modernizar la red para reducir las pérdidas por transmisión, permitir un mayor uso de energías renovables y reducir los problemas de conectividad.

Sector	Barrera	Cambios propuestos
Residencial	<ul style="list-style-type: none"> — Falta de una red inteligente y de un esquema de pagos por la producción de energía hogareña. — Falta de proyectos de demostración. — Falta de educación e información sobre el uso de energía de los electrodomésticos. — Falta de información sobre las líneas de crédito para proyectos ecológicos que ofrecen los bancos. — Falta de información sobre materiales de construcción ecológicos. — Falta de dinero disponible proveniente de los consumidores. 	<ul style="list-style-type: none"> — Desarrollar normas en materia de construcciones ecológicas aplicables al Perú y a Lima-Callao (en desarrollo). — Apoyar el establecimiento de un sector residencial de baja emisión de carbono mediante el fomento de la transferencia de conocimiento y el apoyo a las organizaciones de este sector. — Llevar a cabo campañas educativas y de difusión de información (por ejemplo, respecto de la eficiencia de los electrodomésticos en el uso de energía eléctrica). — Promover la acción, por ejemplo, por medio de la aplicación de tarifas subsidiadas y de una planificación más sencilla de los desarrollos con bajo nivel de carbono. — Alentar a los bancos a que financien las tecnologías ecológicas (por ejemplo, los calentadores de agua solares). — Llevar a cabo estudios más detallados sobre la conveniencia de las medidas (por ejemplo, los techos ecológicos).
Comercial	<ul style="list-style-type: none"> — La falta de una red inteligente inhibe la adopción de alternativas en materia de energía renovable por parte del sector comercial. — Falta de normas en materia de construcciones ecológicas aplicables al Perú y a Lima-Callao. — Falta de proyectos que sirvan de ejemplo (el sector público debería ser el ejemplo). — Falta de educación e información sobre el uso de energía en los electrodomésticos. 	<ul style="list-style-type: none"> — Demostrar el liderazgo del sector público mediante la implementación de medidas de reducción de carbono. — Ofrecer incentivos financieros a las empresas que invierten en medidas de reducción de carbono (por ejemplo, tarifas subsidiadas e impuestos más bajos, entre otras). — Llevar a cabo campañas educativas para fomentar la adopción de medidas orientadas a la reducción de carbono. — Revisar y actualizar las regulaciones vigentes para facilitar la implementación de opciones orientadas a la reducción de carbono. — Fomentar la formación profesional del personal relevante para facilitar la adopción de medidas de reducción de carbono.

Fuente: Elaboración propia.

Bibliografía

1. Agencia de Promoción de la Inversión Privada-Perú (ProInversión). 2013a. "Line 2 and Av. Faucett-Av. Gambetta Branch Line Concession of the Lima and Callao Basic Metro Network". Diciembre. Disponible: <http://www.proinversion.gob.pe/RepositorioAPS/1/2/JER/PC_FERROCARRIL_LINEA2/PPT_DEC_ENG_PPT__MODO_DE_COMPATIBILIDAD_.pdf>.
2. Agencia de Promoción de la Inversión Privada-Perú (ProInversión). 2013b. "Tres consorcios precalificaron para participar en la concesión de Línea 2 del Metro de Lima y Callao". Nota de prensa. Disponible: <http://www.proyectosapp.pe/modulos/NOT/NOT_DetallarNoticia.aspx?ARE=0&PFL=2&NOT=2430>.
3. Allen, Lucy, Juliet Christian-Smith, y Meena Palaniappan. 2010. Overview of Greywater Reuse: The Potential of Greywater Systems to Aid Sustainable Water Management. Oakland, Pacific Institute. Disponible: <http://www.environmentportal.in/files/greywater_overview.pdf>.
4. Autores varios. 2013. "Hacia una ciudad para las personas. Propuesta. Hoja de ruta para una movilidad y un transporte sostenibles en Lima y Callao al 2005". Disponible: <<http://www.limacomovamos.org/cm/wp-content/uploads/2013/08/Resumen-Ejecutivo-Hoja-de-Ruta.pdf>>.
5. Banco Asiático de Desarrollo (ADB). 2010. Reducing Carbon Emissions from Transport Projects. Departamento de Evaluación Independiente. Julio. Disponible: <<http://www.climate-eval.org/sites/default/files/evaluations/193%20Reducing%20Carbon%20Emissions%20from%20Transport%20Projects.pdf>>.
6. Banco Central de Reserva del Perú. 2012. Memoria 2012. Lima. Disponible: <<http://www.bcrp.gob.pe/publicaciones/memoria-anual/memoria-2012.html>>.
7. Banco Mundial. 2003. "Updated Project Information Document (PID). Peru-PE Limabus Transport. Report N° AB127". Disponible: <<http://www.protransporte.gob.pe/pdf/info/publi2/World%20Bank%20Proj%20Info%20Doc.pdf>>.
8. Banco Mundial. 2009. "Reducing Technical and Non Technical Losses in the Power Sector". Background Paper for the World Bank Group Energy Sector Strategy. Julio. Disponible: <http://siteresources.worldbank.org/EXTESC/Resources/Background_paper_Reducing_losses_in_the_power_sector.pdf>.
9. Banco Mundial. 2011. "Applications of Advanced Metering Infrastructure in Electricity Distribution. Draft Report". Washington, D.C. Disponible: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/2011/01/16357270/applications-advanced-metering-infrastructure-electricity-distribution>>.
10. Banco Mundial. 2014. "Peru Overview". Disponible: <<http://www.worldbank.org/en/country/peru/overview>>.
11. BBC London. s/f. "Congestion Charge. Where Has the Money Gone?". Disponible: <http://www.bbc.co.uk/london/content/articles/2006/11/21/congestion_update_feature.shtml>.
12. BBVA Research. 2010. "Peru Automobile Market Outlook". Disponible: <http://www.bbva.com/KETD/fbin/mult/automobile_market_outlook_peru_tcm348-259266.pdf?ts=832012>.
13. Bernstein, L., et al. 2007. "Industry". Climate Change 2007: Mitigation. Contribución del Tercer Grupo de Trabajo al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, y L. A. Meyer (Eds.)]. Cambridge y Nueva York, Cambridge University Press.
14. Blanchard, O., y D. Leigh, D. 2013. Growth Forecast Errors and Fiscal Multipliers. Cambridge, M.A., National Bureau of Economic Research. Working Paper N° 18.779.
15. Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO). 2011. El mercado de edificaciones urbanas en Lima Metropolitana y el Callao. Distribución de la actividad edificadora en Lima Metropolitana según destino, 2009-2011.
16. CBI. s/f. "Congestion Charging". Disponible: <<http://web.archive.org/web/20060819082131/http://www.cbi.org.uk/ndbs/regions.nsf/802737aed3e3420580256706005390ae/e98f7054fd93a6cf80256cca005b7f58>>.
17. Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo-Desco. 2010. "Dimensiones de género en el manejo de residuos domésticos en ciudades latinoamericanas. Informe Lima/Desco. Fase 1. Diagnóstico rápido. Basura y desechos en la ciudad". Disponible: <http://www.desco.org.pe/sites/default/files/publicaciones/files/LIMA_1.pdf>.
18. Centro de Investigación de Energía de Asia Pacífico (APEREC). 2009. APEC Energy Demand and Supply Outlook. 5° edición.
19. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2013. Anuario estadístico de América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
20. Comisión Europea. 2014. "Road Transport: Reducing CO2 Emissions from Vehicles". Disponible: <http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/index_en.htm>.
21. Comité de Gestión de la Iniciativa de Aire Limpio para Lima-Callao. 2010. "II Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima-Callao. PISA L-C 2011-2015".
22. Compañía Peruana de Estudios de Mercado y Opinión Pública (CPI). 2014. "Población y hogares según distritos 2014". Informe de mercado N° 6. Julio.
23. Comunidad Andina. 2014. "Tráfico de contenedores de la Comunidad Andina. Enero-septiembre de 2013". 16 de enero. Disponible: <http://estadisticas.comunidadandina.org/eportal/contenidos/2391_8.pdf>.
24. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). 2006. "Project 1935 : Organic Waste Composting at Takon Palm Oil Mill, Malaysia". Disponible: <<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1214936174.14/view>>.
25. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). 2014a. "National Reports". Disponible: <http://unfccc.int/national_reports/items/1408.php>.
26. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). 2014b. "Mitigation. Pre-2020 Ambition". Disponible: <http://unfccc.int/focus/mitigation/pre_2020_ambition/items/8167.php>.

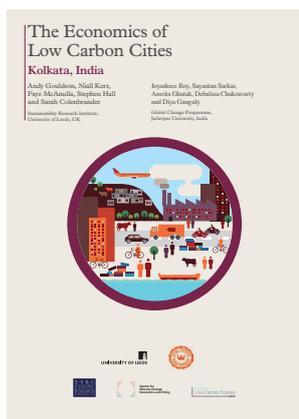
27. Corporación Financiera Internacional (CFI). 2013. "Introducción de la certificación de Excelencia en Diseño para Promover la Eficiencia (EDGE)". Washington, D.C.
28. Dahl, C. A., y T. Sterner. 1991. "Analyzing Gasoline Demand Elasticities. A Survey". *Energy Economics*. 13 (3): 203-210.
29. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. 2012. *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*.
30. Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA). 2013a. *2013 Government GHG Conversion Factors for Company Reporting*. Londres. Versión 1.0.
31. Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA). 2013b. "New Conversion Factors". Disponible: <<http://www.ukconversionfactorscarbonsmart.co.uk/Filter.aspx?year=27>>.
32. Eliasson, J., y L. G. Mattsson. 2006. "Equity Effects of Congestion Pricing: Quantitative Methodology and a Case Study for Stockholm". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 40 (7): 602-620. Agosto.
33. Evidence and Lessons from Latin America (ELLA). 2013. "Green Building in Latin America". Disponible: <http://ella.practicalaction.org/sites/default/files/131106_ENV_TheGreEco_BRIEF1.pdf>.
34. Greening, L. A., D. L. Greene, y C. Difiglio. 2000. "Energy Efficiency and Consumption. The Rebound Effect. A Survey". *Energy Policy*. 28 (6-7): 389-401. Junio.
35. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2005. "Calculating CO2 Emissions from Mobile Sources. Guidance to Calculation Worksheets". *The Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol)-Mobile Guide*. Vol. 3. 21 de marzo.
36. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2006a. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Workbook*. Vol. 2. Disponible: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs5a.htm>>. Fecha de consulta: agosto de 2013.
37. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2006b. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Vol. 5. Preparado por el National Greenhouse Gas Inventories Programme. H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara y K. Tanabe (Eds.). Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Disponible: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>>.
38. Grutter, Jurg M. 2012. "CDM Project Bus Rapid Transit (BRT) TransMilenio 2nd Crediting Period". Versión del 8 de junio.
39. Hoff, H., et al. 2014. "Water Footprints of Cities. Indicators for Sustainable Consumption and Production". *Hydrology and Earth System Sciences*. 18 (1): 213-226.
40. Instituto de Estudios Peruanos (IEP). 2012. "Teletrabajo, cambio climático y políticas públicas: el caso de Lima Metropolitana". Cuarto Informe Técnico. Septiembre de 2011-abril de 2012.
41. Instituto Geofísico del Perú (IGP). 2005. *Evaluación local integrada de cambio climático para la cuenca del río Mantaro. Vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático y medidas de adaptación en la cuenca del río Mantaro*. Lima. Vol. III.
42. International Energy Agency (IEA). 2009. *World Energy Outlook 2008*. Disponible: <<http://www.worldenergyoutlook.org/media/weoweb/2008-1994/WEO2008.pdf>>. Fecha de acceso: 31/10/2013.
43. IPES/Municipalidad Metropolitana de Lima. 2005. "Estudio del mercado de reciclaje para Lima Metropolitana". Lima.
44. Corporación Financiera Internacional (CFI). 2011. *Assessment of the Peruvian Market for Sustainable Energy Finance. Executive Summary*. Disponible: <<http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/78f59b00493a76e18cc0ac849537832d/SEF-Market+Assessment+Peru-Final+Report.pdf?MOD=AJPERES>>. Fecha de acceso: 9/3/2014.
45. Kats, Greg. 2003. *The Costs and Financial Benefits of Green Buildings: A Report to California's Sustainable Building Task Force*. Octubre.
46. Khan, N., y N. Abas. 2011. "Comparative Study of Energy Saving Light Sources". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15 (1): 296-309.
47. Kosow, H.; C. León, y M. Schütze. 2013. "Escenarios para el futuro: Lima y Callao 2040". *Escenarios CIB, storylines & simulación LiWatool*. Disponible: <<http://www.lima-water.de/documents/scenariobrochure.pdf>>.
48. Kumar, Surender. 2006. "Analysing Industrial Water Demand in India: An Input Distance Function Approach". *Water Policy*. 8 (1): 15-29.
49. León, G. 2006. "Perspectivas para el agua y desagüe en el sur de la ciudad". Presentado en el National Seminar on Housing Policies. Lima-Callao. Octubre.
50. Lima Cómo Vamos. 2010. *Evaluando la gestión en Lima al 2010. Primer informe de resultados sobre calidad de vida*. Lima.
51. Milton, Samuel, y Steven Kaufman. 2005. *Solar Water Heating as a Climate Protection Strategy: The Role for Carbon Finance*. Arlington, M.A., Green Markets International. Enero. Disponible: <http://www.green-markets.org/Downloads/SWH_carbon.pdf>.
52. Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM). 2008a. "Guía N° 2: Elaboración de proyectos de guías de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético. Sector comercial". Lima, Dirección General de Electricidad. Mayo.
53. Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM). 2008b. "Guía N° 13: Elaboración de proyectos de guías de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético. Hospitales". Lima, Dirección General de Electricidad. Mayo.
54. Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM). 2008c. "Guía N° 14: Elaboración de proyectos de guías de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético. Edificios públicos". Lima, Dirección General de Electricidad. Mayo.
55. Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM). 2008d. "Guía N° 19: Elaboración de proyectos de guías de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético. Grandes almacenes". Lima, Dirección General de Electricidad. Mayo.
56. Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM). 2009. *Plan Referencial del Uso Eficiente de la Energía 2009-2018*.

57. Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM). s/f. Evolución de indicadores del mercado eléctrico 1995-2011. Disponible: <<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Evoluciones%20en%20el%20subsector%201995%20-%20202011.pdf>>.
58. Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC)/Consejo de Transporte de Lima y Callao/Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)/Yachiyo Engineering Co./Pacific Consultants International. 2005. Plan maestro de transporte urbano para el área metropolitana de Lima y Callao en la República del Perú (Fase 1). Informe final. Lima. Vols. I, II y III.
59. Ministerio de Vivienda del Perú. 2004. “Primer Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima-Callao. PISA L-C 2005-2010”.
60. Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). 2009. Informe anual de residuos sólidos municipales en el Perú. Gestión 2008. Lima. Disponible: <<http://www.redrrss.pe/material/20101021020345.pdf>>.
61. Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). 2010a. El Perú y el cambio climático. Segunda comunicación nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 2010. Lima.
62. Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). 2010b. Política Nacional del Ambiente. Lima. Disponible: <<http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/08/Pol%C3%ADtica-Nacional-del-Ambiente.pdf>>.
63. Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). 2011a. Compendio de la legislación ambiental peruana. Lima. Disponible: <<http://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/2065.pdf>>.
64. Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). 2011b. Plan Nacional de Acción Ambiental. PLANAA Perú 2011-2021. Disponible: <<http://sinia.minam.gob.pe/index.php?action=verElemento&idElementoInformacion=1175&verPor=tema&idTipoElemento=2&idTipoFuente>>.
65. Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). 2012. Cuarto informe nacional de residuos sólidos municipales y no municipales. Gestión 2010-2011. Lima. Septiembre. Disponible: <<http://www.redrrss.pe/material/20130104110940.pdf>>.
66. Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). 2013. “National Capacity Building Workshop for the Development of Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs). New International Guidelines for Climate Change Mitigation”. Lima. 14 y 15 de marzo. Disponible: <http://mitigationpartnership.net/sites/default/files/documentation_nama_workshop_peru.pdf>.
67. Miranda, Liliana y Rommy Torres. 2011 “Gobernanza del agua y cambio climático en Lima y Callao. Pasos para concertar escenarios”. Disponible: <http://www.ciudad.org.pe/downloads/2/taller_25mar11_cambioclimatico/presentaciones/miranda.gobernanza.pdf>. Fecha de acceso: 10/3/2013.
68. Municipalidad Metropolitana de Lima. 2012. “Agenda ambiental metropolitana 2012-2014”. Disponible: <<http://www.munlima.gob.pe/limaambiental/images/archivos/agenda-ambiental-metropolitana.pdf>>.
69. Naciones Unidas–Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población. 2012. Perspectivas de urbanización mundial. Revisión de 2011. [Edición en CD-ROM].
70. ONG Ciudad Saludable. 2011. “Por la ruta del reciclaje en el Perú. Estudio socioeconómico de la cadena del reciclaje”. Disponible: <<http://sial.segat.gob.pe/index.php?action=verElemento&idElementoInformacion=598&verPor=&idTipoElemento=23&idTipoFuente=&idfuenteinformacion=146>>.
71. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). Varios años. “Precios de referencia de combustibles”. Disponible: <<http://www2.osinerg.gob.pe/preciosreferencia/TarPreciosReferencia.html>>.
72. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). 2007. “Precios de referencia de combustibles”. Disponible: <http://www2.osinerg.gob.pe/PreciosReferencia/TarPreciosReferencia_2007.html>.
73. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2013. Informe sobre Desarrollo Humano Perú 2013. Cambio climático y territorio: Desafíos y respuestas para un futuro sostenible. Lima. Disponible: <<http://www.undp.org/content/peru/es/home/library/poverty/Informesobredesarrollohumano2013/IDHPeru2013>>.
74. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat). 2009. Sustainable Urban Energy Planning: A Handbook for Cities and Towns in Developing Countries. ONU-Hábitat/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)/ICLEI-Local Governments for Sustainability.
75. Reagan-Cirincione, P. 1994. “Improving the Accuracy of Group Judgment: A Process Intervention Combining Group Facilitation, Social Judgment Analysis, and Information Technology”. *Organizational Behaviour and Human Decision Processes*. 58 (2): 246-270.
76. Red de Instituciones Especializadas en Capacitación para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos (RedRRSS). s/f. “Residuos sólidos generados en Lima Metropolitana”. Disponible: <<http://www.redrrss.pe/material/20090223164914.pdf>>.
77. Schipper, L., E. Deakin, C. McAndrews, y K. Frick. 2010. “Carbon Dioxide Emissions from Urban Road Transport in Latin America: CO2 Reduction as Co-Benefit of Transport Strategies”. Reunión Anual de la Transportation Research Board 2010. Documento N° 10-3832.
78. Seminario, Bruno. 2012. Cuando despertemos el 2062. Lima, Universidad del Pacífico.
79. Seminario, Bruno. 2013. Las cuentas nacionales del Perú 1600-2012. Lima, Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico.
80. Seminario, Bruno, María Paz Cigarán, y Carla Encinas. 2002. Estudio de tendencias económicas y proyección de gases con efecto de invernadero 1994-2025. Informe final. Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico/Consejo Nacional del Ambiente. Mayo.
81. Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL). 2012. “Plan Maestro para Lima y Callao 2012-2040 (en proyecto). Recursos Hídricos”. 15 de marzo. Disponible: <http://www.lima-water.de/documents/sedapal_2rt2012.pdf>.
82. Shigemí, K., et al. 2013. “Better Cars or Older Cars?: Assessing CO2 Emission Reduction Potential of Passenger Vehicle Replacement Programs”. *Global Environmental Change*. 23 (6):1.807-1.818.

83. Sistema de Transporte Colectivo de la Ciudad de México. Varios años. “Datos de operación”. Disponible: <<http://www.metro.df.gob.mx/operacion/cifrasoperacion.html>>.
84. Staddon, Chad. 2010. “Do Water Meters Reduce Domestic Consumption?: A Summary of Available Literature”. Noviembre. Disponible: <<http://www.heednet.org/metering-defraHEEDnet.pdf>>.
85. The Guardian-Poverty Matters Blog. 2013. “Why Climate Change Threatens Peru’s Poverty Reduction Mission”. 13 de diciembre. Disponible: <<http://www.theguardian.com/global-development/poverty-matters/2013/dec/13/undp-climate-change-peru-poverty-reduction>>.
86. Transport for London. 2012. Travel in London. Report 5. Disponible: <<https://www.tfl.gov.uk/cdn/static/cms/documents/travel-in-london-report-5.pdf>>.
87. Tyler, N. A., y C. Ramirez. 2012. “Developing Low-Carbon Transport Policies in Peru with Capacity-Building for their Implementation”. Londres y Lima, UCL. Disponible: <<http://discovery.ucl.ac.uk/1406488/>>.
88. U.S. Department of Energy. s/f. “Plug-in Hybrid Electric Vehicles. Learn More About the New Label”. Disponible: <<http://www.fueleconomy.gov/feg/label/learn-more-PHEV-label.shtml>>.
89. U.S. Energy Information Administration (EIA). s/f. “International Energy Statistics. Total Primary Energy Consumption per Capita”. Disponible: <<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=44&pid=45&aid=2&cid=regions&syid=2005&eyid=2011&unit=MBTUPP>>. Fecha de acceso: 12/11/2014.
90. United Nations University-Institute for the Advanced Study of Sustainability (UNU-IAS). 2013. “Cities and Climate Change”. Disponible: <<http://www.ias.unu.edu/urban/index.php/cities-and-climate-change/>>. Fecha de acceso: 31/10/2013.
91. Universidad Científica del Sur/Grupo GEA. 2010. Reporte ambiental de Lima y Callao, 2010. Evaluación de avances a 5 años del informe GEO. Lima. Disponible: <http://www.actualidadambiental.pe/ciudadano/documentos/reporte_ambiental_2010.pdf>.
92. Worthington, Andrew C., y M. Hoffmann. 2006. “A State of the Art Review of Residential Water Demand Modelling”. University of Wollongong, Faculty of Commerce-Papers.

El Programa de Ciudades Climáticamente Inteligentes

www.climatesmartcities.org



Calcuta, India



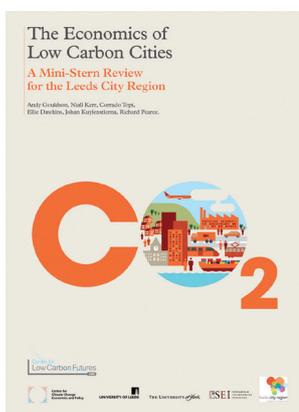
Lima-Callao, Perú



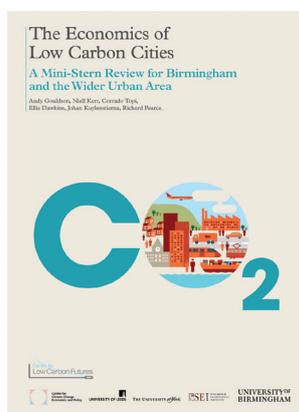
Palembang, Indonesia



Johor Bahru, Malasia



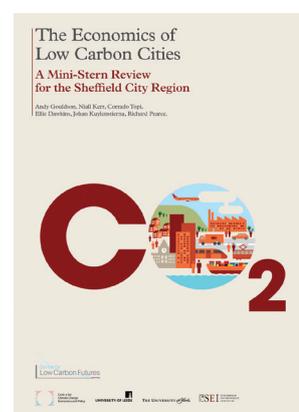
Región de la ciudad de Leeds



Area Urbana de Birmingham



El Humber



Región de la ciudad de Sheffield

Investigación dirigida por:

Prof Andy Gouldson
a.gouldson@see.leeds.ac.uk
+44 (0)113 343 6417



UNIVERSITY OF LEEDS

Jefe de proyecto:

Faye McAnulla
f.e.mcanulla@leeds.ac.uk
+44 (0)113 343 1390



UNIVERSITY OF LEEDS

Líder de país:

Sofia Castro
Castro.sa@pucp.pe



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ