

Edificios verdes para el sector salud

Identificación de medidas costo-efectivas para un diseño sostenible

Eric Fischel
Wilhelm Dalaison
Esperanza González-Mahecha
Ignacio Astorga
Michelle Carvalho Hallack
Virginia Snyder

Sector de Infraestructura y
Energía

Sector Social

División de Cambio Climático

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-02001

Edificios verdes para el sector salud

Identificación de medidas costo-efectivas para un diseño sostenible

Eric Fischel
Wilhelm Dalaison
Esperanza González-Mahecha
Ignacio Astorga
Michelle Carvalho Hallack
Virginia Snyder

Septiembre 2020

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

Edificios verdes para el sector salud: identificación de medidas costo-efectivas para un
diseño sostenible / Eric Fischel, Wilhelm Dalaison, Esperanza González-Mahecha,
Ignacio Astorga, Michelle Hallack, Virginia Snyder.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 2001)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Health facilities-Design and construction-Cost effectiveness. 2. Health facilities-
Environmental aspects-Cost effectiveness. 3. Sustainable buildings-Design and
construction-Cost effectiveness. 4. Infrastructure (Economics)-Environmental aspects-
Cost effectiveness. I. Fischel, Eric. II. Dalaison, Wilhelm. III. González-Mahecha,
Esperanza. IV. Astorga, Ignacio. V. Hallack, Michelle, 1983- VI. Snyder, Virginia. VII.
Banco Interamericano de Desarrollo. Sector de Infraestructura y Energía. VIII. Banco
Interamericano de Desarrollo. Sector Social. IX. Banco Interamericano de Desarrollo.
División de Cambio Climático. X. Serie.

IDB-TN-2001

Códigos JEL: 018, Q41, Q42, Q55

Palabras clave: infraestructura social, infraestructura de salud, sostenibilidad, eficiencia
energética, cambio climático, edificios sostenibles

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2020 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Wilhelm Dalaison, wilhelmd@iadb.org; Esperanza Gozález-Mahecha, rosago@iadb.org

EDIFICIOS VERDES

PARA EL SECTOR
SALUD

Identificación de medidas costo-efectivas
para un diseño sostenible

Eric Fischel – Wilhelm Dalaison – Esperanza González-Mahecha
Ignacio Astorga – Michelle Carvalho Hallack – Virginia Snyder



Índice

Abreviaturas

Resumen ejecutivo

1. Antecedentes

2. Introducción

3. El cambio climático y el sector salud

4. Metodología del análisis

5. Identificación de las ciudades y sus condiciones climáticas

6. Casos de estudio y tipologías de edificios de salud

7. Simulaciones: diseño pasivo y diseño activo

8. Resultados de las simulaciones: ahorros

9. Análisis financiero de los casos de estudio

10. Hospital existente

11. Resultados de las simulaciones del hospital existente: ahorros

12. Análisis financiero del hospital existente

13. Hallazgos y recomendaciones

14. Limitaciones y consideraciones finales

15. Bibliografía

5 Anexos

6 Anexo 1. Descripción detallada de las ciudades consideradas

9 Anexo 2. Descripción detallada de las edificaciones consideradas

10 Anexo 3. Códigos empleados en el estudio

12 Anexo 4. Resumen de medidas simuladas

13 Anexo 5. Descripción detallada del hospital existente

14 Anexo 6. Resumen de simulaciones para el hospital existente

16 Anexo 7. Tarifas de servicios públicos según precios de mercado

57

58

62

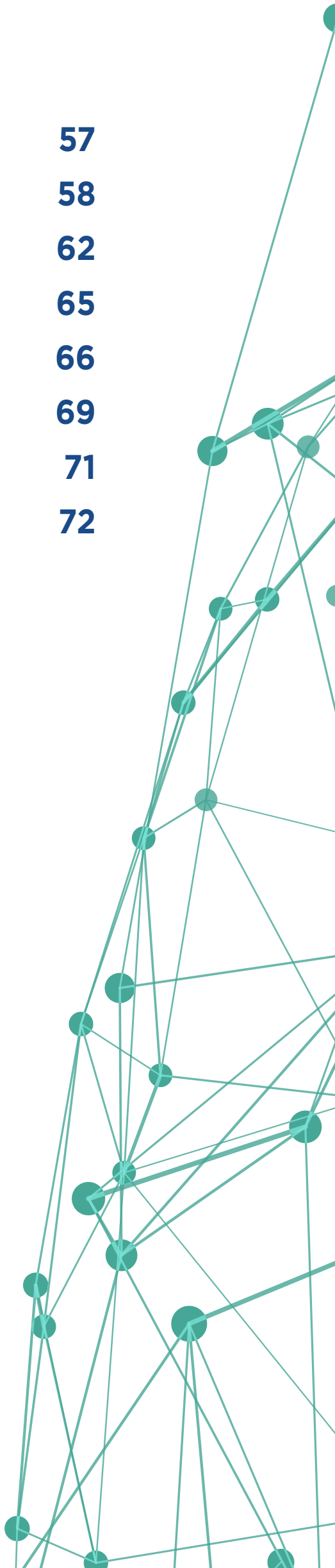
65

66

69

71

72



Índice de figuras

Figura 1. Localización geográfica de las ciudades.	14	Figura 26. Costo incremental por m ² y ahorro por ciudad con tarifas de precios de mercado.	35
Figura 2. Clínica de Pacientes Ambulatorios 1 - Ahorro energético según ciudad.	22	Figura 27. Indicadores financieros de diferentes ciudades con tarifas investigadas.	35
Figura 3. Clínica de Pacientes Ambulatorios 2 - Ahorro energético según ciudad.	22	Figura 28. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación a.	38
Figura 4. Centro de Diagnóstico - Ahorro energético según ciudad.	22	Figura 29. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación b.	39
Figura 5. Hospital de Especialidades Múltiples - Ahorro energético según ciudad.	23	Figura 30. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación c.	40
Figura 6. Hospital Universitario - Ahorro energético según ciudad.	23	Figura 31. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación d.	41
Figura 7. Residencia de Ancianos - Ahorro energético según ciudad.	24	Figura 32. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación e.	42
Figura 8. Consumo de Energía / m ² / año. CCR-CD-Simulación 1 y 2.	25	Figura 33. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación f.	43
Figura 9. Consumo de Energía / m ² / año. CCR-HU-Simulación 1 y 2.	25	Figura 34. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación g.	44
Figura 10. Consumo de energía promedio por m ² por ciudad.	26	Figura 35. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación h.	45
Figura 11. Consumo de energía anual (m ² / año). LPB-HEM-Simulación 1 y 2.	26	Figura 36. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación i.	46
Figura 12. Promedio de consumo de agua diario (m ³ /paciente Simulaciones 1 y 2.	27	Figura 37. Ahorro de energía simulaciones HP.	48
Figura 13. Consumo de agua diario por paciente. CCR-CD-Simulación 1 y 2.	28	Figura 38. Ahorro de agua simulaciones HP.	48
Figura 14 Consumo de agua diario por paciente. CCR-HU-Simulación 1 y 2.	28	Figura 39. Costo incremental y ahorros anuales en HP.	49
Figura 15. Promedio de energía incorporada en los materiales. Simulación 1 y 2.	29	Figura 40. Indicadores financieros de diferentes escenarios HP.	50
Figura 16. Energía incorporada en los materiales / m ² . CCR-CD-Simulación 1 y 2.	29	Figura 41. Ahorro anual de energía por m ² HP.	50
Figura 16. Energía incorporada en los materiales / m ² . CCR-HU-Simulación 1 y 2.	29	Figura 42. Ahorro anual de agua por m ² HP.	50
Figura 18. Ahorro anual de energía por m ² para diferentes ciudades.	30	Figura 43. Condiciones atmosféricas y geográficas de Hermosillo/México.	58
Figura 19. Ahorro anual de agua por m ² para diferentes ciudades.	30	Figura 44. Condiciones atmosféricas y geográficas de Cartago/Costa Rica.	58
Figura 20. Ahorro en energía incorporada en los materiales por m ² para diferentes ciudades.	30	Figura 45. Condiciones atmosféricas y geográficas de San Salvador/El Salvador.	59
Figura 21. Ahorro en emisiones por m ² para diferentes ciudades.	30	Figura 46. Condiciones atmosféricas y geográficas de Quito/Ecuador.	59
Figura 22. Tarifas eléctricas y de agua por país según EDGE.	33	Figura 47. Condiciones atmosféricas y geográficas de Santa Marta/Colombia.	60
Figura 23. Costo incremental por m ² y ahorro en diferentes ciudades por año.	33	Figura 48. Condiciones atmosféricas y geográficas de La Paz/Bolivia.	60
Figura 24. Indicadores financieros de las ciudades.	34	Figura 49. Condiciones atmosféricas y geográficas de Manaos/Brasil.	61
Figura 25. Tarifas eléctricas y de agua por ciudad/país según a precios de mercado.	34	Figura 50. Condiciones atmosféricas y geográficas de Puerto Santa Cruz/Argentina.	61
		Figura 51 . Condiciones atmosféricas y geográficas de Buenos Aires/Argentina.	69

Índice de tablas

Tabla 1. Periodo de retorno de la inversión según tarifas a precios de mercado.	8	Tabla 25. Resumen de medidas en clínica de pacientes ambulatorios 2 (CPA2).	66
Tabla 2. Principales características de las ciudades analizadas.	14	Tabla 26. Resumen de medidas en centro de diagnóstico (CD).	67
Tabla 3. Clasificación Köppen Geiger – Primera y segunda letra.	15	Tabla 27. Resumen de medidas en hospital de especialidades múltiples (HEM).	67
Tabla 4. Clasificación Köppen Geiger – Tercera letra.	15	Tabla 28. Resumen de medidas en hospital universitario (HU).	68
Tabla 5. Principales características de los 6 edificios analizados.	16	Tabla 29. Resumen de medidas en residencia de ancianos (RA).	68
Tabla 6. Medidas de ahorro energético en EDGE.	17	Tabla 30. Parámetros e información del hospital existente.	70
Tabla 7. Principales diferencias entre las simulaciones de energía.	18	Tabla 31. Cuadro resumen de estrategias implementadas por simulación.	71
Tabla 8. Medidas de ahorro de agua EDGE.	18	Tabla 32. Tarifas eléctricas según precios de mercado (Oct-2019).	72
Tabla 9. Principales diferencias entre las simulaciones de agua.	18	Tabla 33. Tarifas de agua según precios de mercado (Oct-2019).	72
Tabla 10. Medidas de eficiencia en los materiales EDGE seleccionadas.	19		
Tabla 11. Consumo de energía según tipo de edificio.	24		
Tabla 12. Resumen comparativo de tarifas.	36		
Tabla 13. Parámetros e información de clínica de pacientes ambulatorios (300 m²).	62		
Tabla 14. Parámetros e información de clínica de pacientes ambulatorios (1500 m²).	62		
Tabla 15. Parámetros e información de centro de diagnóstico.	63		
Tabla 16. Parámetros e información de hospital de especialidades múltiples.	63		
Tabla 17. Parámetros e información de hospital universitario.	64		
Tabla 18. Parámetros e información de residencia de ancianos.	64		
Tabla 19. Ciudades.	65		
Tabla 20. Tipologías de edificio.	65		
Tabla 21. Medidas de ahorro energético.	65		
Tabla 22. Medidas de ahorro de agua.	65		
Tabla 23. Medidas de eficiencia en los materiales.	65		
Tabla 24. Resumen de medidas en clínica de pacientes ambulatorios 1 (CPA1).	66		

Abreviaturas

CD: Centro de Centro de Diagnóstico, edificio de 5000 m² de dos niveles y 400 m² de irrigación; no cuenta con camas de atención a pacientes ni servicio de lavandería.

CPA1: Clínica de Pacientes Ambulatorios de 300 m² de un solo nivel, cuenta con 150 m² de áreas de paisajismo.

CPA2: Clínica de Pacientes Ambulatorios de 1,500 m² de un solo nivel, cuenta con 300 m² de áreas de paisajismo.

COP: ‘Coefficient of Performance’ (por definición en inglés). Es un coeficiente adimensional que se utiliza para expresar la cantidad de calor o unidades de energía que puede remover un equipo por cada unidad de energía eléctrica. Se calcula como la división del calor transformado entre la unidad de energía eléctrica.

EDGE: [‘Excellence in Design For Greater Efficiencies’](#) (por definición en inglés). EDGE es una plataforma en línea, un estándar de construcción verde¹ y un sistema de certificación usado en más de 150 países. La [aplicación EDGE](#) ayuda a determinar las opciones más costo-efectivas para diseñar una edificación verde. Esta plataforma se utiliza para ingresar la información del proyecto a efectos de verificar la eficiencia del diseño y obtener los costos de inversión incremental

y ahorros en servicios públicos según las medidas de eficiencia que se seleccionen.

HEM: Hospital de Especialidades Múltiples, es un tipo de proyecto hospitalario de 12 000 m² de tres niveles, cuenta con 1200 m² de área de paisajismo; además incluye el servicio de lavandería, cocina y camas de atención a pacientes.

HP: Hospital Público, es un tipo de proyecto hospitalario de 40 000 m² de diez niveles, cuenta con 2000 m² de área de paisajismo; además incluye el servicio de lavandería, cocina y camas de atención a pacientes.

HU: Hospital Universitario, es un tipo de proyecto hospitalario de 20 000 m² de seis niveles, cuenta con 1500 m² de área de paisajismo; además incluye el servicio de lavandería, cocina y camas de atención a pacientes.

IFC: [‘International Finance Corporation’](#) (por definición en inglés). Es una organización miembro del World Bank Group; es la institución financiera global enfocada en el sector privado en países en vía de desarrollo más grande del mundo.

kWh: Es una unidad de consumo de energía. Otra forma de verlo puede ser que cada kilowatt-hora representa el consumo de una potencia de 1000 Watt por una hora completa. Es una unidad del sistema métrico, equivalente

a 3600 kilojoules, que es una potencia de 1 Watt por 3600 segundos o una hora.

RA: Residencia de Ancianos es un tipo de proyecto de 3000 m² de dos niveles, con 300 m² de área de paisajismo.

PRI: Periodo de Recuperación de la Inversión: El Periodo de Recuperación de la Inversión es una variable que se utiliza para determinar la cantidad de años que se requieren para que una inversión de capital se recupere con los ahorros o ganancia neta que podría generar en caso de implementarse. La forma simple de calcularse es dividir la inversión de capital entre el ahorro promedio anual durante la vida útil del proyecto.

TIR: La Tasa Interna de Retorno de un proyecto de inversión de capital cuantifica porcentualmente lo que genera éste al compararse con la inversión inicial; es la tasa de interés a la cual el valor actual neto se hace cero. Se calcula con la inversión inicial y los flujos netos futuros del proyecto por un periodo de tiempo establecido.

VAN: El Valor Actual Neto representa la cantidad de dinero equivalente hoy si todos los flujos netos de efectivo futuros de un proyecto se traen a valor presente a una tasa de descuento establecida y se resta la inversión inicial de capital. En general se considera que, si se obtiene un VAN positivo, el proyecto es viable.

VRF: ‘Variable Refrigerant Flow’ (por definición en inglés). Se refiere a los sistemas de aire acondicionado que varían el volumen de refrigerante con un compresor con velocidad variable con tecnología ‘Inverter’ para modular cargas parciales. La mayoría de los sistemas VRF tienen eficiencias equivalentes muy altas, ya que los sistemas en general se diseñan para cargas picos y realmente operan en esa condición menos del 2% del tiempo²; por lo tanto, un equipo con alta eficiencia en cargas parciales puede ser superior.

WWR: ‘Window to Wall Ratio’ (por definición en inglés). Se refiere a la relación que existe en una fachada entre la pared o muro sólido y la ventana. EDGE estima el caso base para la tipología de Hospitales con un WWR de 30% y establece un caso mejorado de WWR de 20%, sin embargo, se pueden hacer las modificaciones necesarias en las 8 fachadas del proyecto, de un 0% hasta un 100% según sea el diseño arquitectónico.

¹ EDGE es una marca registrada de IFC.

² ANSI/AHRI STANDARD 340/360

Resumen ejecutivo

Durante el año 2018, a nivel global las edificaciones y el sector de construcción fueron responsables por 36% del consumo final de energía y 39% de las emisiones de CO₂, de las cuales 11% corresponden al proceso de manufactura de materiales de construcción tales como acero, cemento y vidrio.

Los proyectos de infraestructura, y en particular los del sector salud, ofrecen una oportunidad para diseñar, construir, administrar e invertir en sistemas e instalaciones que usen eficientemente los recursos de energía y agua, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero de este sector, al tiempo que cumplen la razón de existir de estas infraestructuras: atender a las personas. La implementación de medidas combinadas de diseño y de eficiencia energética resultan no solo en un ahorro de recursos sino en una reducción en los costos de operación de la edificación, y, por tanto, impactan positivamente la sostenibilidad en el largo plazo.

El presente análisis fue realizado para identificar las medidas más costo-efectivas que permiten generar ahorros energéticos y de consumo de agua en los proyectos

de infraestructura del sector salud. Para ello se ha optado por emplear una herramienta creada por la *International Finance Corporation* (IFC) que permite identificar rápidamente las maneras más efectivas de reducir energía, agua, y energía incorporada en los materiales de construcción. La herramienta se denomina *“Excellence in Design For Greater Efficiencies” (EDGE)*.

EDGE se compone de una plataforma en línea, un estándar a alcanzar y un sistema de certificación. La plataforma en línea o aplicación permite ingresar parámetros del edificio, localización, tipología, entre otros, y de elegir dentro de una lista de medidas de diseño pasivas y/o activas, las distintas opciones y evaluar el impacto que tiene cada una en el desempeño del edificio. La certificación del edificio es otorgada por un organismo independiente (Certificador), cuando se demuestra que el edificio alcanza el estándar definido por EDGE.

En este trabajo se usó EDGE principalmente por dos razones: a) Es un sistema simple y disponible gratuitamente que permite una aproximación a las medidas más costo-efectivas, y, b) Proporciona una base amplia que

abarca diferentes ciudades y tipologías, y permite obtener resultados comparables entre sí.

Para el desarrollo de este análisis se trabajó sobre un conjunto de casos hipotéticos de infraestructura de salud en diferentes ciudades de la región, analizando en cada uno de los casos diferentes alternativas de diseño.

Se establecieron 8 ciudades ubicadas en diferentes latitudes y que cuentan con condiciones atmosféricas variadas (temperatura promedio anual, precipitación promedio anual, altitud, entre otras). Para cada una de las ciudades se evaluaron 6 casos hipotéticos de diferentes edificios de salud nuevos con diferentes características. Este primer análisis determinó un universo de 48 casos de estudio.

8 ciudades:

Hermosillo - México, con un clima seco, árido cálido.

» **Cártago - Costa Rica**, con un clima tropical lluvioso

» **San Salvador - El Salvador**, con un clima de sabana tropical con invierno seco.

» **Quito - Ecuador**, con un clima templado suave húmedo con verano cálido.

» **Santa Marta - Colombia**, con un clima de sabana tropical con verano seco.

» **La Paz - Bolivia**, con un clima templado suave con invierno seco y verano cálido.

» **Manaos - Brasil**, con un clima de monzón tropical.

» **Puerto Santa Cruz - Argentina**, con un clima de estepa semiárida con frío árido.

6 tipologías de edificios de salud:

» **Clínica de Pacientes Ambulatorios** de 300 m².

» **Clínica de Pacientes Ambulatorios** de 1500 m².

» **Centro de Diagnóstico** de 5000 m².

» **Hospital de Especialidades Múltiples** de 12 034 m².

» **Hospital Universitario** de 20 017 m²

» **Residencia de Ancianos** de 3000 m².

Para cada uno de estos casos de estudio se realizaron dos tipos de simulaciones con base en las opciones que EDGE propone, una utilizando estrategias de diseño pasivas (S1) y otra que refleja medidas de diseño activas como lo son la mejora en la eficiencia de equipos de aire acondicionado o la utilización de paneles fotovoltaicos, entre otras (S2). En total, se realizaron 96 simulaciones.

Adicionalmente, se definió otro caso hipotético, referente a un hospital público existente de 40 000 m² en la Ciudad de Buenos Aires, construido en el año 2000 en donde se incorporaron medidas destinadas a reducir el consumo energético y de agua, sin modificaciones arquitectónicas. Para este caso adicional se realizaron un total de 9 simulaciones. El objetivo fue profundizar en el análisis de medidas que pueden ser empleadas en edificaciones existentes y que pudieran o no implicar remodelaciones.

Buenos Aires - Argentina, con un clima subtropical húmedo.

Hospital público existente de 40 000 m².

Luego de realizar 96 simulaciones de proyectos diferentes en ciudades con diferentes tipos de clima, y 9 simulaciones adicionales en el caso del hospital existente, se puede verificar que EDGE permite obtener valiosa información para guiar procesos de diseño y de mejoras

hacia proyectos con mayor eficiencia energética, menor consumo de agua y uso de materiales con menos energía incorporada durante su ciclo de vida.

En cada una de las simulaciones realizadas se fue buscando alcanzar los estándares de 20% de ahorro de energía, 20% de ahorro de agua y 20% de ahorro en energía incorporada en los materiales, con la implementación de medidas pasivas de diseño y medidas activas o la combinación de ambas.

Para edificios de salud nuevos, en promedio se obtuvieron ahorros anuales de **109 kWh, 0.9 m³ de agua, 0.6 GJ** de energía incorporada en los materiales y **0.044 tCO₂ por cada metro cuadrado de construcción** con un costo incremental promedio que no supera los **USD20/m²**.

Para el edificio hospitalario existente, se logró obtener un ahorro anual de **72 kWh y 0.86 m³ de agua por cada metro cuadrado de construcción** con un costo incremental desde los **USD13.25/m²**.

Asimismo, se ha podido identificar dónde se producen los mayores consumos de energía, agua y energía incorporada en los materiales en proyectos de infraestructura de salud, dependiendo del clima y tipo de proyecto. Conjuntamente se han podido obtener algunas recomendaciones de diseño que resultan más costo-efectivas que otras, permitiendo identificar sobre

qué medidas actuar para buscar mayores ahorros de consumo como de recursos.

Por ejemplo, además de los sistemas de aire acondicionado, los mayores consumos de energía se dan en los servicios de cocina y lavandería, que se encuentran en edificaciones con hospitalización. El mayor consumo de agua está directamente relacionado con el tamaño del edificio, es decir, con la cantidad de servicios sanitarios con que se cuenta.

Para el análisis financiero, además de emplear la plataforma EDGE, se realizó un análisis financiero usando las tarifas de mercado de servicios públicos en las ciudades analizadas. Si bien existe una leve diferencia entre los valores reportados por EDGE y las tarifas de mercado de los servicios públicos, en ambos casos, y dependiendo de las medidas de ahorro implementadas, los resultados fueron favorables en cuanto al periodo de retorno de la inversión.

Por último, es importante mencionar que si bien EDGE es una herramienta que facilita la elección de medidas de diseño dirigidas a obtener ahorros; existen otras herramientas tales como simulaciones termo-energéticas o *softwares* específicos, que pueden ser utilizadas si se requiere mayor precisión en el análisis y en las soluciones.

Tabla 1. Periodo de retorno de la inversión según tarifas a precios de mercado.

Ciudad	Periodo de retorno de la inversión (Años)
Cártago - Costa Rica	0.5-2.7
Hermosillo - México	0-2
La Paz - Bolivia	0.2-3.5
Manaos - Brasil,	0-1.9
Quito - Ecuador	0.6-6.2
Puerto Santa Cruz - Argentina	0.2-5.3
San Salvador - El Salvador	0.1-3
Santa Marta - Colombia	0-2.4



1. Antecedentes

En el año 2017, las gerencias del Sector de Infraestructura y Energía (INE/INE) y del Sector Social (SCL/SCL) del Banco, acordaron la creación de la Unidad de Infraestructura Social para brindar apoyo técnico especializado en los programas y proyectos financiados por SCL/SCL que tienen componentes de infraestructura.

La Unidad de Infraestructura Social trabaja estrechamente con la División de Cambio Climático (CSD/CCS) en la promoción y apoyo a los países que en sus proyectos de infraestructura social incorporen medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. El apoyo se da en múltiples momentos del ciclo de vida del proyecto. Por ejemplo, en la etapa de preparación, en donde CSD/CCS, contabiliza el porcentaje del monto de la operación de préstamo, que puede ser considerado Financiamiento Climático, de acuerdo con la metodología acordada por todos los Banco Multilaterales de Desarrollo [1].

En diciembre de 2018, la colaboración conjunta entre la Unidad de Infraestructura Social y CSD/CCS incluyó el lanzamiento de la guía “Hacia el 30%

de financiamiento climático: ¿cómo pueden contribuir los edificios?” [2]. Esta guía explica cómo los edificios, tanto de infraestructura social como de otros sectores pueden contribuir al cumplimiento de la meta de 30% de financiamiento climático del grupo BID para el 2020.

El presente trabajo, en línea tanto con la guía lanzada en el 2018 como con el Marco de Infraestructura Sostenible del BID [3] profundiza en los proyectos de infraestructura del sector salud. Estos proyectos representan un alto porcentaje de la cartera de los proyectos de la División de Salud y Protección Social (SCL/SPH).

El análisis fue desarrollado con base en los contenidos y simulaciones elaborados por Eric Fischel con el apoyo de Gastón Michaud y Mariana Herrera bajo la coordinación y edición general de Wilhelm Dalaisón y Esperanza González-Mahecha y el apoyo específico de Ignacio Astorga, Michelle Carvalho Hallack y Virginia Snyder.

Asimismo, contó con la colaboración de diversos colegas: Iciar Hidalgo Roca, Livia Minoja, Carlos Henriquez,

Beatriz Toribio, Juliana Salles Almeida, Rossemay Yurivilca, Marco Buttazzoni, quienes colaboraron en la revisión y complementación del documento.

Los autores agradecen especialmente el apoyo de Ana Milena Avendaño Páez, de la *International Finance Corporation* (IFC) por sus valiosos aportes para mejorar este documento.



2. Introducción

Existen dos estrategias para hacer frente al cambio climático, las medidas de mitigación y las medidas de adaptación. Las medidas de mitigación al cambio climático van dirigidas a reducir los gases de efecto invernadero y, en el caso de infraestructura edilicia, se centran en estrategias dirigidas al ahorro y eficiencia energética, el uso de energías renovables y el empleo de materiales con baja energía incorporada durante todo el ciclo de vida. Estas medidas, además de disminuir el impacto en el cambio climático de las instalaciones, permiten ahorros económicos substanciales, siendo importante en la sustentabilidad de largo plazo.

Las medidas de adaptación, como su nombre lo indica, se centran en la adaptación de la infraestructura a los efectos del cambio climático, de manera que esta sea más resiliente a eventos tales como sequías, olas de calor, lluvias, aumento en el nivel del mar, entre otros, que ocurrirán con mayor frecuencia e intensidad.

A nivel global, durante el año 2018, las edificaciones y el sector de construcción

fueron responsables por 36% del consumo final de energía y 39% de las emisiones de CO₂, de las cuales 11% corresponden al proceso de manufactura de materiales de construcción tales como acero, cemento y vidrio [4]. Comparado con el 2017, las emisiones aumentaron un 2%, mientras que el consumo de energía aumentó un 1%. En ese sentido, el sector de edificaciones presenta un desafío, pero a la vez una gran oportunidad para enfrentar el cambio climático, en el que formuladores de política, diseñadores, constructores y otros actores de la cadena de valor de la construcción tienen oportunidades para descarbonizar este sector.

Las posibilidades de intervención en el diseño son mayores en edificaciones nuevas en comparación con las edificaciones existentes. Para edificios nuevos es posible incidir, por ejemplo, mediante la orientación y la geometría considerando las condiciones climáticas locales y buscando aprovechar los recursos disponibles (sol, vegetación, lluvia, vientos). Diseñar teniendo en cuenta estos elementos (conocido como estrategias pasivas de diseño), redundará en la reducción de los impactos

ambientales al mismo tiempo que reduce las demandas de energía para usos finales como, por ejemplo, el acondicionamiento de espacios. La aplicación de medidas de diseño pasivas reduce la necesidad y dependencia de equipos y tecnología (conocidas como medidas activas de diseño), entre las que se pueden citar, por ejemplo, equipos e iluminación eficiente o colectores solares térmicos para atender el uso final de agua caliente. Adicionalmente, el empleo de paneles solares fotovoltaicos reduce la demanda de electricidad de la red y por tanto impacta en las emisiones asociadas al consumo de electricidad u otros energéticos. Es necesario que para cada proyecto se analice la articulación de medidas pasivas y activas en los diseños, teniendo en mente siempre una mayor eficiencia y menores costos durante todo el ciclo de vida del proyecto.

En las edificaciones existentes es más difícil poder actuar sobre estrategias pasivas o selección de ciertos materiales de construcción, por lo que generalmente los esfuerzos se centran en la incorporación de medidas activas que incorporen eficiencia al funcionamiento.

Si bien es cierto que la incorporación de estas medidas en los diseños colabora con la reducción de costos, es importante reconocer que siempre es necesario combinar estas medidas con programas que fomenten cambios comportamentales de los usuarios y como estos inciden y colaboran en la reducción del consumo de recursos como energía y agua.

Para el desarrollo de este análisis se ha optado por emplear una herramienta denominada “[Excellence in Design For Greater Efficiencies](#)” (EDGE), creada por la *International Finance Corporation* (IFC), que permite identificar rápidamente las maneras más costo-efectivas de reducir consumo de energía, agua, y energía incorporada en los materiales de construcción. Esta herramienta se compone de una plataforma en línea, un estándar a alcanzar y un sistema de certificación. La plataforma en línea o aplicación permite ingresar parámetros del edificio, localización, tipología, entre otros, y elegir dentro de una lista de medidas de diseño pasivas y/o activas, las distintas opciones y evaluar el impacto que tiene cada una en el desempeño del edificio³.

³ En 2019, en aras de reconocer ahorros mayores, EDGE ha incluido la posibilidad de obtener un certificado “EDGE Advanced” para aquellas edificaciones que demuestren una reducción de 40% en el consumo de energía (los otros dos requisitos mínimos se mantienen inalterados) y un certificado “EDGE cero carbono” para

La certificación del edificio es otorgada por un organismo independiente (Certificador), cuando se demuestra que el edificio alcanza el estándar definido por EDGE.

En este trabajo se usó EDGE principalmente por dos razones: a) Es un sistema simple y disponible gratuitamente que permite una aproximación a las medidas más costo-efectivas, y, b) Proporciona una base amplia que abarca diferentes ciudades y tipologías, y permite obtener resultados comparables entre sí. El sistema de certificación como tal no está considerado en este análisis.

EDGE fue específicamente diseñado para países emergentes, y es concebido como una metodología simple de aproximación a ahorros de energía, agua y energía incorporada en los materiales. EDGE consiste en un conjunto de algoritmos matemáticos basados en variables de climatología, transferencia de calor y la física de los edificios. El usuario digita los datos de diseño y la calculadora muestra el potencial de ahorro del edificio. El consumo de energía, en particular, se predice usando un modelo cuasi-estacionario caracterizado por la facilidad en la recolección de datos, la

aquellas edificaciones que demuestren una reducción de al menos 40% en el consumo de energía, el restante 60% se debe alcanzar mediante energías renovables o con compensaciones de carbono

reproductibilidad y la eficacia en el costo de recolección de inputs para el modelo.

El presente análisis busca identificar las medidas más costo-efectivas que permiten generar ahorros energéticos y de consumo de agua en los proyectos del sector salud con base en los resultados obtenidos con la plataforma en línea de EDGE, para alcanzar el estándar mencionado.

Este análisis no pretende ser exhaustivo y los resultados dependen de los parámetros y del listado de medidas establecidas por defecto en EDGE. Sin embargo, busca ayudar a los equipos de proyecto y a los tomadores de decisiones, en la identificación de las medidas que no solo permitan obtener ahorros de consumo, sino que representen menores costos de inversión y periodos de retorno de la inversión más cortos.

Para este análisis se han modelado diferentes casos de estudio hipotéticos de proyectos de infraestructura de salud, y se han verificado los resultados. Dado que es un documento orientativo, se recomienda que para cada proyecto específico se haga un análisis más minucioso que evalúe en primer lugar las medidas aquí identificadas como las más costo-efectivas y las tecnologías disponibles localmente. El presente análisis fue realizado en septiembre de 2019, en la Versión 2.1.5.

Por último, es importante reiterar que el presente análisis se base en casos hipotéticos, elegidos dentro de un universo casi infinito de posibilidades, con el objetivo de tener algunas conclusiones generales y lineamientos sobre qué medidas pueden ser más efectivas a un menor costo y con un menor tiempo de retorno de la inversión.

3. El cambio climático y el sector salud

Cuando se trata de cambio climático y el sector salud existen varios puntos en común. El cambio climático impacta actualmente la salud humana de diversas formas. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el cambio climático aumenta el riesgo de enfermedades transmitidas por vectores, como la malaria y el dengue, como consecuencia del aumento en la frecuencia e intensidad de las lluvias y las oleadas de calor, entre otros [5]. Recientemente, también se ha reconocido que el cambio climático puede ser considerado como una amenaza a la salud mental. Las pérdidas y traumas producto de desastres naturales, intensificados por el cambio climático, se asocian con enfermedades como el trastorno por estrés postraumático (TEPT), ansiedad, depresión, ira y violencia.

Todos estos efectos se acentúan en países de ingresos medios y bajos, por su condición de vulnerabilidad a eventos climáticos extremos, y por ser aquellos con menor capacidad de respuesta de sus sistemas de salud y su infraestructura deficiente. Frente al

enorme desafío del cambio climático, los sistemas de salud están llamados a actuar en diferentes frentes, siendo algunos de ellos: a) sistemas de alerta temprana y comunicación a la población; b) monitoreo del estado de salud físico y mental de la población, y c) infraestructura adecuada para proveer servicios de salud. Es justamente sobre este último punto al que este documento se dedica.

Los países de la región han venido aumentando su inversión en sistemas de salud; por tal razón, desde una perspectiva de largo plazo, estamos frente a un potencial para implementar tecnología e infraestructura más económica y menos intensiva en carbono. Tal como lo señala el Banco Mundial (2017), en su informe "Cuidado de la salud climáticamente inteligente" [6], la infraestructura hospitalaria ofrece una oportunidad para diseñar, construir, administrar e invertir en sistemas y establecimientos de salud que generen cantidades mínimas de gases de efecto invernadero (GEI). En este sentido, sistemas de salud climáticamente inteligentes estarían alineados tanto con

las metas de desarrollo de la región como con los objetivos de cambio climático a nivel global.

Esta perspectiva implica un ahorro de dinero como consecuencia de la reducción de los costos energéticos y de recursos hídricos y materiales, que podrían ser destinados, por ejemplo, en programas de prevención o en la ampliación de la cobertura. Este abordaje también presenta beneficios adicionales tales como reducción de la contaminación ambiental incluyendo GEI, además de sistemas de salud más eficientes. En términos generales, un cuidado de la salud bajo en carbono incluye los siguientes elementos [6]: sistemas de salud con proveedores locales, diseño y construcción de infraestructura hospitalaria enfocado en bajas emisiones y eficiencia energética, reducción de los residuos y gestión sustentable de residuos sanitarios, políticas de transporte y de agua sustentables, etc.

4. Metodología del análisis

Para el desarrollo de este análisis se trabajó sobre un conjunto de casos hipotéticos de infraestructura de salud en diferentes ciudades de la región, analizando en cada uno de los casos diferentes alternativas de diseño.

Se establecieron 8 ciudades ubicadas en diferentes latitudes y que cuentan con condiciones atmosféricas variadas (temperatura promedio anual, precipitación promedio anual, altitud, entre otras). Para cada una de las ciudades se evaluaron 6 casos hipotéticos de diferentes edificios de salud nuevos con diferentes características. Este primer análisis determinó un universo de 48 casos de estudio.

Para cada uno de estos casos de estudio, se realizaron dos tipos de simulaciones: una utilizando principalmente estrategias de diseño pasivas (S1) y otra que incorporan medidas de diseño activas como lo son la mejora en la eficiencia de equipos de aire acondicionado y la generación de energía *in situ* mediante paneles fotovoltaicos, entre otras (S2). En total, se realizaron 96 simulaciones.

Adicionalmente, se definió un caso adicional (también hipotético), referente a un hospital público existente en la Ciudad de Buenos Aires, en donde se incorporaron medidas destinadas a reducir el consumo energético y de agua, sin modificaciones arquitectónicas. Para este caso adicional se realizaron un total de 9 simulaciones. El objetivo de este caso fue profundizar el análisis de medidas que pueden ser empleadas en edificaciones existentes y obtener varias opciones posibles.

Para el desarrollo de este análisis se empleó la aplicación de EDGE, buscando obtener resultados que demuestren la obtención de una reducción mínima de 20% en el consumo de energía, 20% en el ahorro de agua y 20% en la energía incorporada en los materiales para cada caso, en comparación con la práctica habitual (o línea de base) de la construcción en las ciudades determinadas.

Como se mencionó, EDGE permite ingresar características de cada edificio para determinar el comportamiento de éste en el clima en que se está analizando.

La variedad de estas características puede ser muy diversa, y al tratarse de casos hipotéticos, se optó por emplear y optimizar las medidas estándar dadas por EDGE y emplearlas de la misma manera para todos los casos. Por ejemplo, en lo relacionado con la orientación del edificio, se asumió una configuración proporcional en las fachadas norte, sur, este, oeste, noreste, noroeste, sureste y suroeste.



5. Identificación de las ciudades y sus condiciones climáticas

Para el análisis se definieron 8 ciudades en el continente, que cuentan con características climáticas y geográficas variadas y representativas, pasando desde climas áridos de desierto con pocas precipitaciones hasta climas de fríos de estepa. La Tabla 2 presenta las

principales características de las ciudades analizadas (temperatura, localización y clasificación climática) según la clasificación climática Köppen-Geiger. Para información detallada sobre las ciudades ver Anexo 1.

Tabla 2. Principales características de las ciudades analizadas.

	Ciudad/País	Temperatura Promedio Anual (°C)	Temperatura Anual Máxima (°C)	Temperatura Anual Mínima (°C)	Precipitación Promedio Anual (mm)	Latitud (Deg)	Clasificación de Clima Köppen-Geiger	
	Hermosillo/México	20.67	28.0	13.0	26.70	29	Bwh	Seco, Árido cálido
	Cartago/Costa Rica	19.37	20.5	17.6	1504.70	10	Af	Tropical lluvioso
	San Salvador/El Salvador	24.17	26.0	23.0	979.00	13.7	Aw	Sabana tropical con invierno seco
	Quito/Ecuador	14.00	14.0	14.0	2743.00	0.13	Cfb	Templado suave húmedo con verano cálido
	Santa Marta/Colombia	25.75	26.0	25.0	1777.00	11.3	As	Sabana tropical con verano seco
	La Paz/Bolivia	7.17	9.0	4.0	561.00	16.5	Cwb	Templado suave con invierno seco y verano cálido
	Manaos/Brasil	27.25	28.0	26.0	1811.00	3.1	Am	Monzón tropical
	Puerto Santa Cruz/Argentina	15.42	24.0	8.0	135.00	50	Bsk	Estepa semiárida con frío árido

Figura 1. Localización geográfica de las ciudades.



¿QUÉ ES LA CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN-GEIGE?

La clasificación climática de Köppen-Geige divide los climas en cinco grandes grupos y varios tipos y subtipos. Cada clima está representado por un número variable de letras con el siguiente significado:

La primera letra de la clasificación es una la letra mayúscula (“A”, “B”, “C”, “D”, “E”) que refiere al **grupo climático de la región**: tropical, seco, templado, nieve y polar.

La segunda letra, es una minúscula que refiere al tipo de clima dentro del grupo climático, en función de la cantidad y distribución de las **precipitaciones**.

La tercera letra minúscula, refiere a la **temperatura** media mensual del aire del mes más cálido y la temperatura media anual del aire.

En los grupos “B” o “E”, donde la segunda letra es también una mayúscula, las precipitaciones y temperatura son referenciadas como total anual.

Tabla 3. Clasificación Köppen Geiger – Primera y segunda letra.

Primera y segunda Letra		
Tipo	Descripción	Criterio
A	Climas tropicales	$T_{min} \geq +18\text{ }^{\circ}\text{C}$
Af	Bosque tropical	$P_{min} \geq 60\text{ mm}$
Am	Monzón tropical	$P_{ann} \geq 25(100 - P_{min})\text{ mm}$
As	Sabana tropical con verano seco	$P_{min} < 60\text{ mm in summer}$
Aw	Sabana tropical con invierno seco	$P_{min} < 60\text{ mm in winter}$
B	Climas secos	$P_{ann} < 10 P_{th}$
BW	Desierto (árido)	$P_{ann} \leq 5 P_{th}$
BS	Estepa (semiárida)	$P_{ann} > 5 P_{th}$
C	Templado suave	$-3\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{min} < +18\text{ }^{\circ}\text{C}$
Cs	Templado suave con verano seco	$P_{smin} < P_{wmin}, P_{wmax} > 3 P_{smin}, P_{smin} < 40\text{ mm}$
Cw	Templado suave con invierno seco	$P_{smax} > 10 P_{wmin}, P_{wmin} < P_{smin}$
Cf	Templado suave, totalmente húmedo	Not Cs or Cw
D	Nieve	$T_{min} \leq -3\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ds	Nieve con verano seco	$P_{smin} < P_{wmin}, P_{wmax} > 3 P_{smin}, P_{smin} < 40\text{ mm}$
Dw	Nieve con invierno seco	$P_{smax} > 10 P_{wmin}, P_{wmin} < P_{smin}$
Df	Nieve, totalmente húmeda	Not Ds or Dw
E	Polar	$T_{max} < +10\text{ }^{\circ}\text{C}$
ET	Tundra	$T_{max} \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$
EF	Helada	$T_{max} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tabla 4. Clasificación Köppen Geiger – Tercera letra.

Tercera Letra		
Tipo	Descripción	Criterio
h	Árido caliente	$T_{ann} \geq +18\text{ }^{\circ}\text{C}$
k	Frío árido	$T_{ann} < +18\text{ }^{\circ}\text{C}$
a	Verano caliente	$T_{max} \geq +22\text{ }^{\circ}\text{C}$
b	Verano cálido	$T_{max} < +22\text{ }^{\circ}\text{C}, 4 T_{mon} \geq +10\text{ }^{\circ}\text{C}$
c	Verano fresco	$T_{max} < +22\text{ }^{\circ}\text{C}, 4 T_{mon} < +10\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{min} > -38\text{ }^{\circ}\text{C}$
d	Verano frío	$T_{max} < +22\text{ }^{\circ}\text{C}, 4 T_{mon} < +10\text{ }^{\circ}\text{C}, T_{min} \leq -38\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fuente: Chen, D. and H. W. Chen, 2013: Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010. Environmental Development, 6, 69-79, 10.1016/j.envdev.2013.03.007

6. Casos de estudio y tipologías de edificios de salud

Se seleccionaron 6 tipologías de edificios de salud de acuerdo con algunas de las opciones disponibles en EDGE. Para cada una de las tipologías, se definieron características mínimas, algunas de las cuales corresponden a

información que EDGE establece por defecto. La siguiente tabla muestra un resumen con las principales características de los 6 tipos de edificación modelados. Información más detallada de cada uno de ellos se encuentra en el Anexo 2.

Tabla 5. Principales características de los 6 edificios analizados.

Tipología de la edificación	Área (m²)	Niveles	Área de paisajismo	Tasa promedio de ocupación	Lavandería y cocina
Clínica de pacientes Ambulatorios I (CPA1)	300	1	60	70%	No
Clínica de pacientes Ambulatorios II (CPA2)	1500	1	300	70%	No
Centro de Diagnóstico (CD)	5000	2	400	70%	No
Hospital de Especialidades Múltiples (HEM)	12 034	3	1200	70%	Si
Hospital Universitario (HU)	20 017	6	1500	70%	Si
Residencia de Ancianos (RA)	3000	2	300	70%	Si



7. Simulaciones: diseño pasivo y diseño activo

Habiendo definido los 48 casos de estudio (8 ciudades y 6 tipologías), se realizaron dos simulaciones para cada caso. En cada una de ellas, se incluyeron las medidas que EDGE propone para la medición de ahorros en energía, agua y energía incorporada en los materiales.

Es importante señalar que EDGE asume de manera predeterminada ciertas características de diseño por lo cual al ingresar la información del proyecto se debe ratificar o rectificar dicha información. De esta manera, EDGE establece una línea base que ya incorpora algunas medidas y prácticas constructivas que ya son habituales en los países donde se realiza el proyecto. Si el usuario no ajusta dicha información del proyecto, EDGE asumirá estas características tanto en la línea base que establece, como en los ahorros recomendados. Adicionalmente, EDGE requiere que para algunas de estas medidas se ingrese información específica de carácter

obligatorio, las cuales denominamos medidas mínimas y se identifican con un asterisco (*).

7.1 Energía

En la categoría de energía se definieron las medidas a utilizar con el fin de alcanzar el estándar definido por EDGE, o sea, un ahorro mínimo de 20% en comparación con el caso base.

La siguiente tabla muestra las medidas disponibles en la plataforma.

Tabla 6. Medidas de Ahorro Energético en EDGE⁴.

*HSE01. Reducción de la proporción de vidrio en la fachada exterior
HSE02. Pintura reflectiva/tejas para techo: reflectividad solar (albedo) de 0.7
HSE03. Pintura reflectiva para paredes externas: reflectividad solar (albedo) de 0.7
HSE04. Control solar externo - Factor promedio de sombreado anual (AASF) de 0.61
*HSE05. Aislamiento del techo - Valor-U de 0.297
*HSE06. Aislamiento térmico paredes externas - Valor-U: 0.289
HSE07. Vidrio de baja emisividad - Valor-U: 3 W/m².K y SHGC: 0.45
HSE08. Vidrio de alto rendimiento térmico - Valor-U: 1.95 W/m².K y SHGC: 0.28
HSE09. Ventilación natural – Pasillos
HSE10. Ventilación natural - Vestíbulo y áreas de espera y consulta
HSE11. Ventilación natural - Habitaciones de pacientes
*HSE13. Refrigerante de Velocidad Variable (VRF). COP of 3.5
*HSE14. Aire acondicionado con enfriador por aire - COP de 3.3
*HSE15. Aire acondicionado enfriado por agua - COP 5.2
HSE20. Unidades de frecuencia variable en las manejadoras de aire (AHU)
HSE21. Unidades de velocidad variable en bombas
HSE22. Recuperación de calor sensible del aire de salida. Eficiencia 60%
HSE29. Bombillas ahorradoras de energía - Espacios internos (excepto salas de terapia ocupacional)
HSE30. Bombillas ahorradoras de energía - Espacios externos
HSE32. Controles de iluminación para pasillos
HSE33. Sensores de ocupación en los baños
HSE35. Colectores de agua caliente solar - 60% de la demanda de agua caliente
HSE36. Energía solar fotovoltaica - 10% de la demanda total de energía

4 No se listan todas las medidas que ofrece EDGE, sino las más relevantes y las escogidas para todos los casos de estudio. Las medidas con * son las medidas mínimas en que EDGE solicita que se ingrese información del proyecto de manera obligatoria.

Para la selección de las medidas de cada una de las dos simulaciones, se definió el siguiente criterio⁵:

Tabla 7. Principales diferencias entre las simulaciones de energía.

ENERGÍA	
Simulación 1	Simulación 2
Incluye tanto las medidas mínimas y la información obligatoria definida por EDGE con sus valores predeterminados, como medidas correspondientes a estrategias pasivas.	Además de las medidas mínimas e información obligatoria definida por EDGE con sus valores predeterminados, se incluyen solamente estrategias activas de diseño, excluyendo medidas como control solar externo y de ventilación natural.
Entre ellas se incluye el control solar externo, para evitar y/o disminuir la incidencia de radiación solar directa dentro del proyecto y la ventilación natural de espacios como lobbies, pasillos y habitaciones de pacientes las cuales ayudarían a reducir las cargas de energía	Entre ellas se incluyen sistemas de enfriamiento de alta eficiencia tipo VRF, colectores de agua caliente solar para un 60% de la demanda de agua caliente y energía solar fotovoltaica para un 10% de la demanda eléctrica.
Adicionalmente, y si bien no es obligatorio, en todos los casos se incorpora Iluminación eficiente, como bombillas ahorradoras de energía tipo LED o Fluorescente en espacios internos y externos, controles automáticos y sensores de ocupación.	

5 Es importante tener en cuenta que EDGE no considera medidas de ahorro energético vinculadas al equipamiento médico, por lo cual este factor no es considerado en el presente análisis. Cuando EDGE refiere a equipos y su ahorro energético hace mención a equipos electromecánicos.

7.2 Agua

En la categoría de agua también se definieron las medidas a utilizar con el fin de alcanzar el estándar definido por EDGE, es decir, un ahorro mínimo de 20% en comparación con el caso base.

La siguiente tabla muestra las medidas disponibles en la plataforma.

Tabla 8. Medidas de Ahorro de Agua EDGE⁶.

*HSW01. Duchas de bajo flujo - 7 litros/min
*HSW02. Lavatorios de bajo consumo en todos los baños. 2litros/min.
*HSW03. Doble descarga para los inodoros. 6 litros la primera descarga, 3 litros la segunda descarga.
*HSW04. Orinales con uso eficiente de agua en todos baños - 2 litros por descarga
*HSW07. Grifos para cocina con uso eficiente de agua - 6 litros/min
HSW09. Jardinería con uso eficiente de agua - 4 litros/m²/día
HSW12.Sistema de tratamiento y reciclaje de aguas grises

Para la selección de las medidas de cada una de las dos simulaciones, se definió el siguiente criterio:

Tabla 9. Principales diferencias entre las simulaciones de agua.

AGUA	
Simulación 1	Simulación 2
Incluye tanto las medidas mínimas y la información obligatoria definida por EDGE sin variación de caudales con relación a los datos definidos de manera predeterminada	Adicionalmente a las medidas de la S1, se incorporan otras medidas adicionales.
Entre ellas se toman los flujos de 7 litros/min para duchas, 2 litros/min para lavatorios de baños. En el caso de los servicios sanitarios se considera 6 litros la primera descarga y 3 litros la segunda descarga, orinales de 2 litros por descarga, y 6 litros/min para los fregaderos de cocinas.	Entre ellas el tratamiento de aguas grises, y para los proyectos de mayor escala (HEM, HU) el uso eficiente de agua para las áreas de paisajismo.

6 No se listan todas las medidas que ofrece EDGE, sino las más relevantes y las escogidas para todos los casos de estudio. Las medidas con * son las medidas mínimas en que EDGE solicita que se ingrese información del proyecto de manera obligatoria.

7.3 Materiales

Los materiales fueron cuidadosamente elegidos para que pudiesen ser empleados en todas las tipologías de construcción y además permitieran la comparación de costos por metro cuadrado de construcción.

La mayoría de los materiales elegidos contribuyen no solo a alcanzar el estándar de 20% de ahorro en energía incorporada en los materiales, sino que también afectan positivamente la categoría de energía, reduciendo la demanda de este recurso. De esta manera, se reducen los costos operativos relacionados con el aire acondicionado y la calefacción.

La siguiente tabla muestra los materiales seleccionados según las categorías disponibles de EDGE, y el criterio para su selección en el presente análisis.

El Anexo 4 muestra el resumen de las medidas consideradas en las 96 simulaciones. En todas ellas, se logra alcanzar el estándar de 20% de ahorro de energía, 20% de ahorro de agua y 20% de ahorro de energía incorporada en los materiales, en comparación con la línea base.

Tabla 10. Medidas de eficiencia en los Materiales EDGE seleccionadas.

Medida	Material	Justificación
*HSM01. Losas de piso y entrepiso	Losa reforzada de concreto en obra 350mm	Material más empleado en la región para la estructura de este tipo de edificios. Se utilizan las dimensiones (350mm) y refuerzos de acero (35kg/m²) definidas por defecto
*HSM02. Construcción de cubierta	Losa reforzada de concreto en obra 200mm	Material que puede ser empleado en todas las tipologías soporta un mínimo de equipos electromecánicos
*HSM03. Paredes exteriores	Malla 3D de concreto proyectado en ambas caras y núcleo de poliestireno expandido	Material de muy alta eficiencia aislante
HSM04. Paredes interiores	Malla 3D de concreto proyectado en ambas caras y núcleo de poliestireno expandido	Para mantener igual criterio que con paredes exteriores
*HSM05. Acabado de piso	Baldosa de cerámica	Material muy usado en la región en edificios de salud
*HSM06. Marcos de ventanas	PVC no plastificado	Material de alta eficiencia y menor costo incremental que otros
HSM07. Aislamiento de paredes	Fibra mineral (U: ~ 1.86 W/m²k) /A	Material muy usado en la región, de alta eficiencia y poco bajo costo
HSM08. Aislamiento de techo	Fibra de vidrio (U: ~ 1.99 W/m²k)	Material muy usado en la región, de alta eficiencia y poco bajo costo

* De acuerdo con la Guía de Usuario de EDGE, la Malla 3D de concreto proyectado en ambas caras “está compuesta por los siguientes elementos: i) malla de refuerzo soldada con un diámetro de alambre de 3 mm y un tamaño de malla de 50 mm x 50 mm; ii) alambre diagonal (inoxidable o galvanizado) con un diámetro de 4 mm; iii) alma de poliestireno expandido con un espesor de 50 mm a 120 mm; y iv) concreto proyectado sobre la estructura de alambre.” Por ello, si bien el software (Versión 2.1.5) solo nombra al material como “Malla 3D de concreto proyectado en ambas caras” el mismo incluye dicho aislamiento y es por ello por lo que en este documento se incluye el núcleo de poliestireno expandido como parte de la descripción del material.

> Tips:

El uso de pinturas reflectivas en paredes y cubiertas es efectivo, sin embargo, su costo efectividad depende del clima, del tipo de pared o cubierta. Si se eligen materiales de alta inercia térmica, no es necesario emplear este tipo de pinturas.

La pintura reflectiva y el control solar externo es muy ventajosa para ahorrar energía en climas cálidos, aunque en climas fríos es necesario incluir aislamiento térmico, ya que reduce la demanda energética por calefacción. En climas cálidos, aunque se coloque aislación térmica, la mayor eficiencia estará dada por el color de la superficie de fachada y techos.

El tratamiento de aguas grises y su reutilización, representa un alto nivel de ahorro de uso de agua y un bajo costo incremental.

La malla 3D de concreto proyectado en ambas caras y núcleo de poliestireno expandido en paredes exteriores, es uno de los materiales que mayor eficiencia presenta y reduce más la necesidad de equipos de acondicionamiento térmico.

Aunque el diseño sea completamente bioclimático y aproveche al máximo la iluminación natural, se debe siempre emplear iluminación eficiente, mediante la utilización de lámparas ahorradoras y controles o sensores de ocupación. De lo contrario, no se alcanzará el estándar de 20% de ahorro.

La arquitectura bioclimática es una buena estrategia para reducir demanda de energía para refrigeración de espacios. Sin embargo, debido la complejidad de la infraestructura de salud* debe primar la calidad de aire y temperatura específica de los ambientes, así como las condiciones de confort deseadas.

El empleo de sistemas de riego eficientes en uso de agua es más rentable en caso de grandes superficies a irrigar. Para áreas pequeñas, el costo incremental es demasiado elevado con relación al ahorro. Especialmente en estos casos, se recomienda el empleo de especies nativas para evitar la necesidad de riego artificial.

El uso de ventanas con marco de PVC no plastificado presenta un menor costo incremental que las ventanas de marco de aluminio y, además, presenta menor cantidad de energía incorporada.

* Por ejemplo, en centros de primer nivel, puestos de salud o residencias puede ser suficiente con arquitectura bioclimática, sin embargo áreas de cuidados especiales, o centros quirúrgicos pueden requerir otras condiciones térmicas y de calidad de aire en donde aún en condiciones favorable no pueda recurrirse a la arquitectura bioclimática. Incluso, dentro de un mismo hospital, algunos sectores podrán ser resueltos sin necesidad de medidas activas, pero otros podrán requerir equipos específicos.

8. Resultados de las simulaciones: ahorros

8.1 Energía

Para cada una de las tipologías y cada una de las ciudades, se realizaron dos simulaciones. Las siguientes figuras muestran los ahorros de energía de cada una.

En el caso de la **Clínica de Pacientes Ambulatorios 1 (CPA1)**, se obtuvieron mayores ahorros con el empleo de medidas activas (S2) que medidas pasivas (S1). Para las S1 el ahorro se encuentra entre el **22% y 36%**, mientras que en las S2 el ahorro se encuentra entre el **43% y 48%**, con respecto a la línea base.

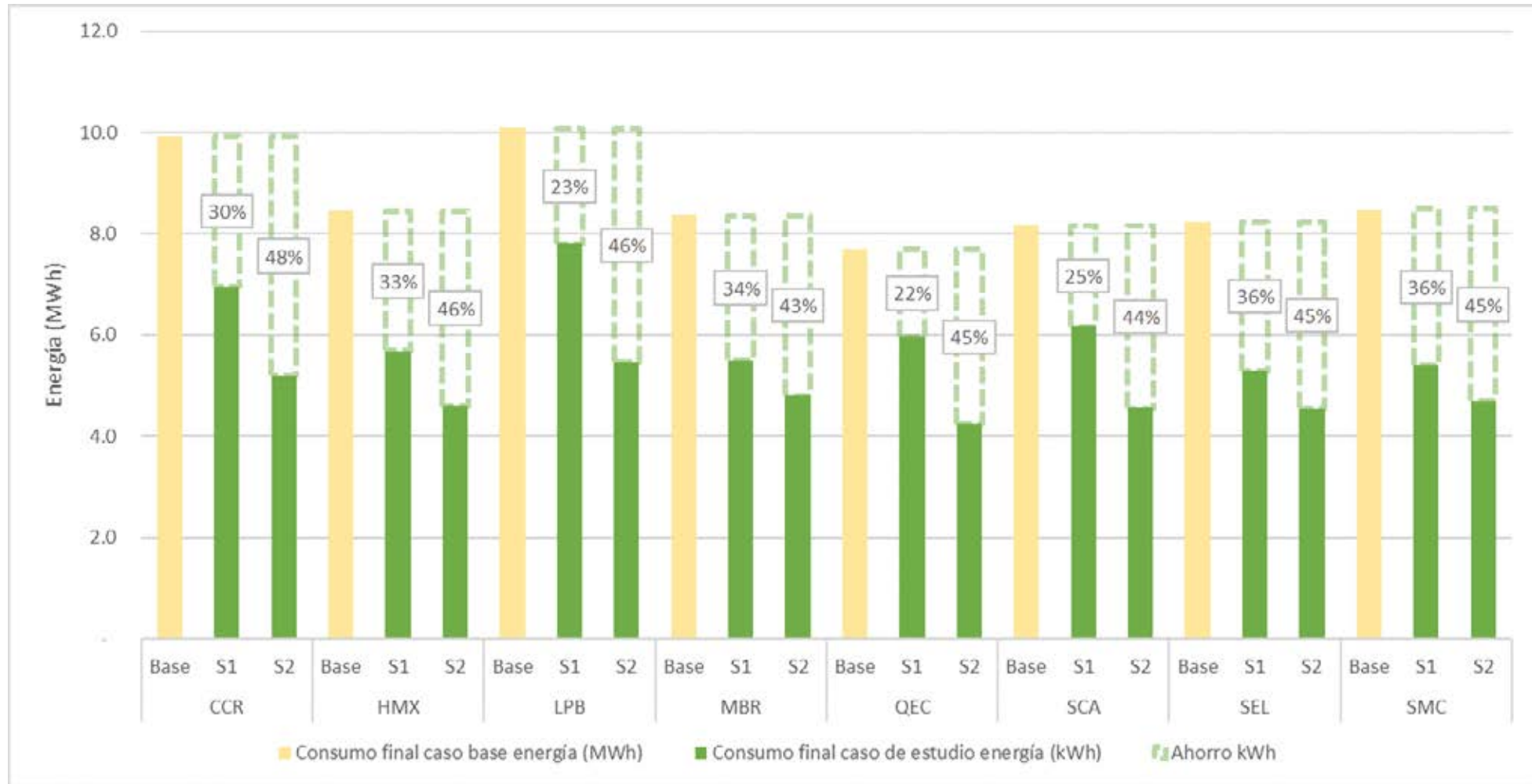
Con relación al consumo, se puede afirmar que un edificio de esas características consume, habitualmente, entre 8,1 MWh y 10,0 MWh al mes, dependiendo de la ciudad. Con esa base, se puede afirmar que con la incorporación de medidas pasivas el consumo puede ser entre 5,1 MWh y 7,9 MWh al mes, y con medidas activas puede reducirse a valores entre 4,1 MWh y 5,1 MWh al mes, dependiendo de la ciudad.

En el caso de **Clínica de Pacientes Ambulatorios 2 (CPA2)**, también se encuentran diferencias importantes cuando se emplean medidas activas (S2) además de medidas pasivas (S1). Para las simulaciones S1 el ahorro se encuentra entre el **20% y 31%**, mientras que en las simulaciones S2 el ahorro se encuentra entre el **35% y 40%**.

Por otra parte, se observa que el consumo de los edificios de esta tipología habitualmente (caso base) se encuentra entre 34,0 MWh y 40,0 MWh al mes, dependiendo de la ciudad. Aplicando las estrategias de ahorro energético se puede reducir a valores entre 21,5 MWh y 30,0 MWh al mes para la S1 y entre 20,0 MWh y 29,0 MWh al mes para la S2.

En el caso de los **Centros de Diagnóstico (CD)** la brecha de ahorro entre la S1 y S2 en una misma ciudad se reduce, sin embargo, el ahorro energético varía de un 22% a 50% entre las distintas ciudades.

Figura 2. Clínica de Pacientes Ambulatorios 1 - Ahorro energético según ciudad.



Aplicando las medidas de ahorro energético, se pueden obtener reducciones de consumo entre los 81,0 MWh y 110,0 MWh al mes para la S1 y entre 75,0 MWh y 92,0 MWh al mes para la S2, mientras que los consumos del caso base se encuentran entre los 116,0 MWh y 181,0 MWh al mes.

Otro dato interesante que se observa es que en La Paz-Bolivia el consumo energético es mucho mayor a las demás ciudades debido a la demanda por

calefacción. A su vez, es donde es posible obtener mayores ahorros en consumo energético.

El caso del **Hospital de Especialidades Múltiples (HEM)** presenta diferencias con los casos anteriores. Un HEM es un edificio de mayor complejidad, con una alta incidencia de equipamiento médico y electromecánico, lo que representa un alto consumo energético. El consumo habitual de un edificio de esta tipología está entre 380,0 MWh y 610,0 MWh al mes.

Figura 3. Clínica de Pacientes Ambulatorios 2 - Ahorro energético según ciudad.

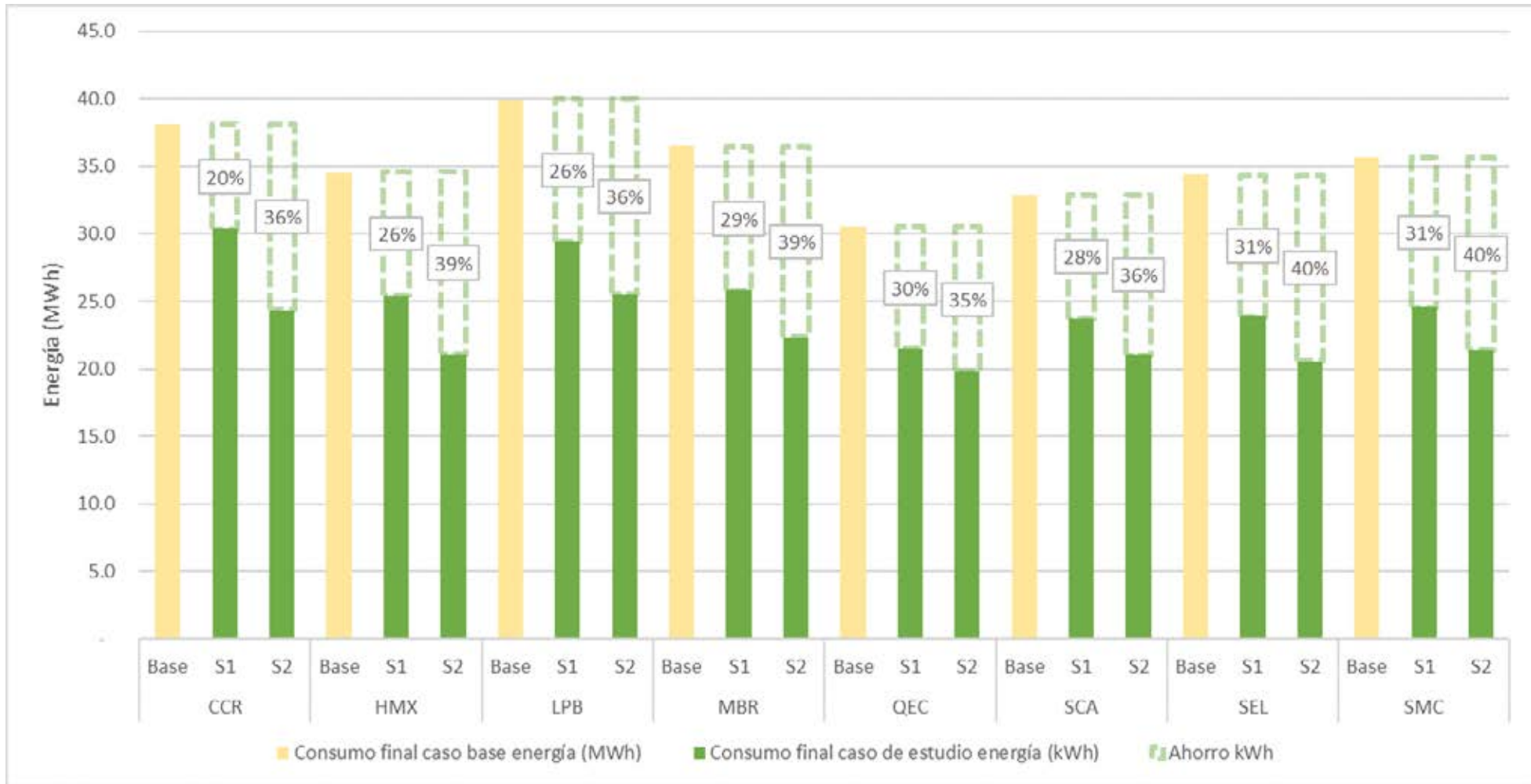


Figura 4. Centro de Diagnóstico - Ahorro energético según ciudad.

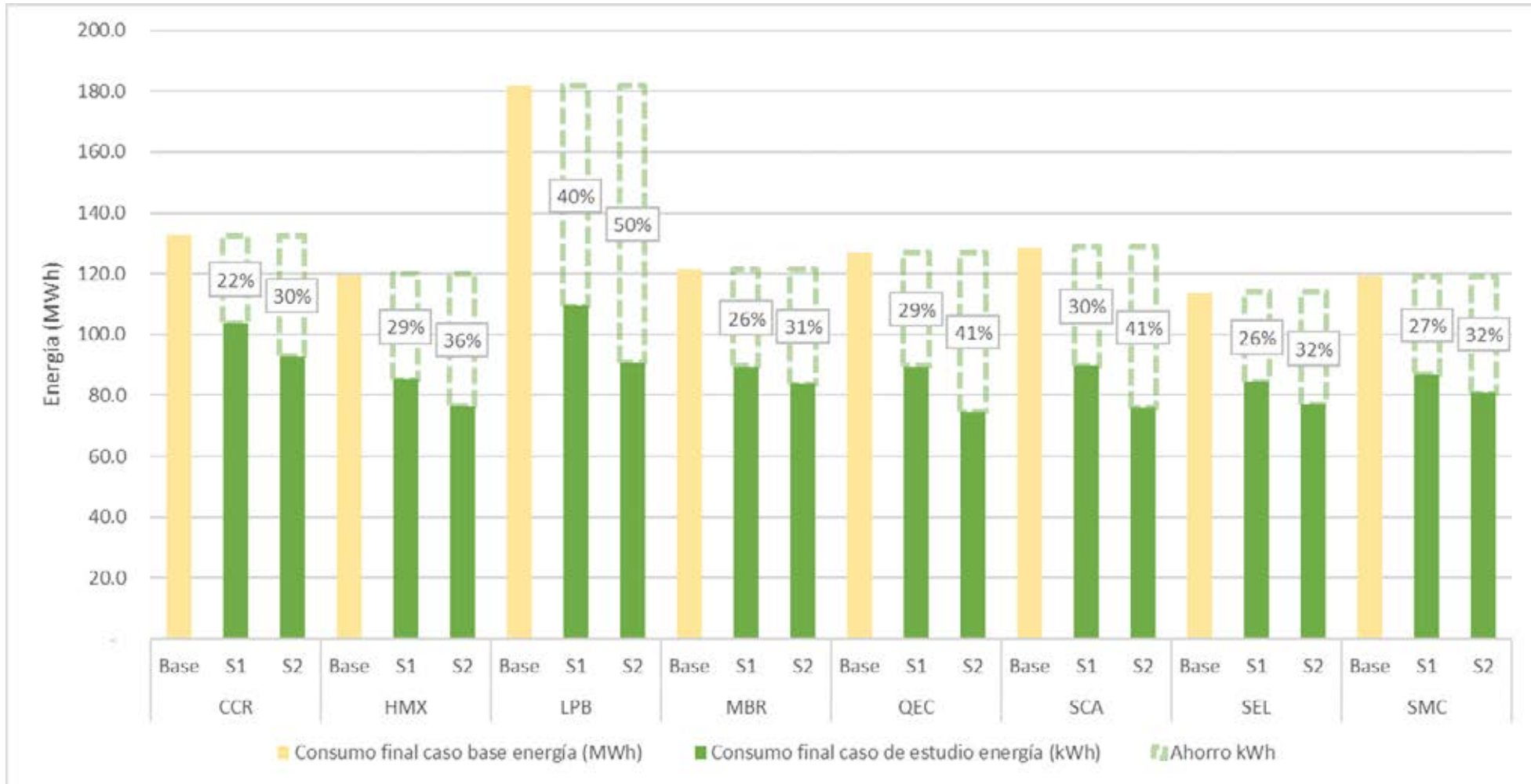


Figura 5. Hospital de Especialidades Múltiples - Ahorro energético según ciudad.

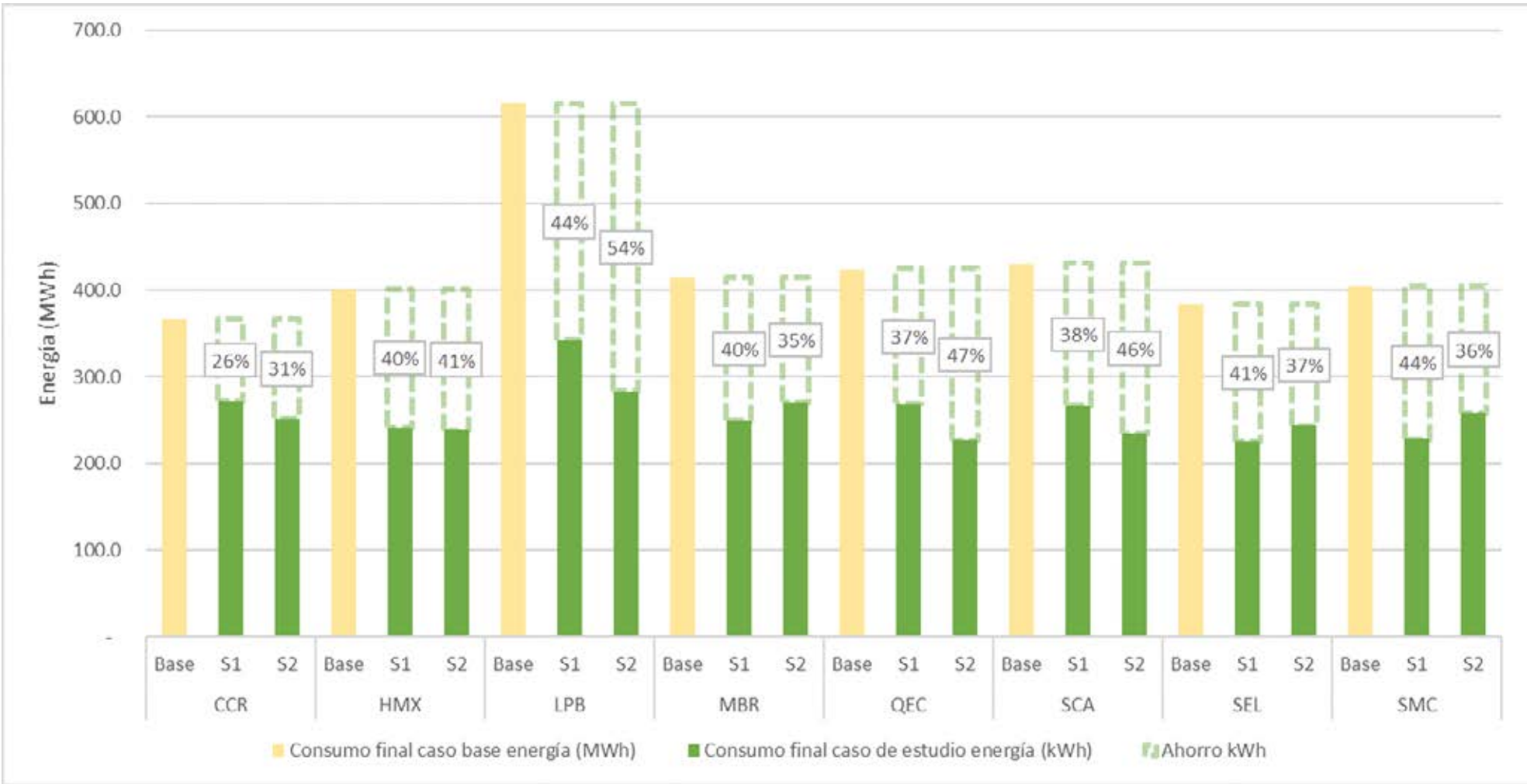
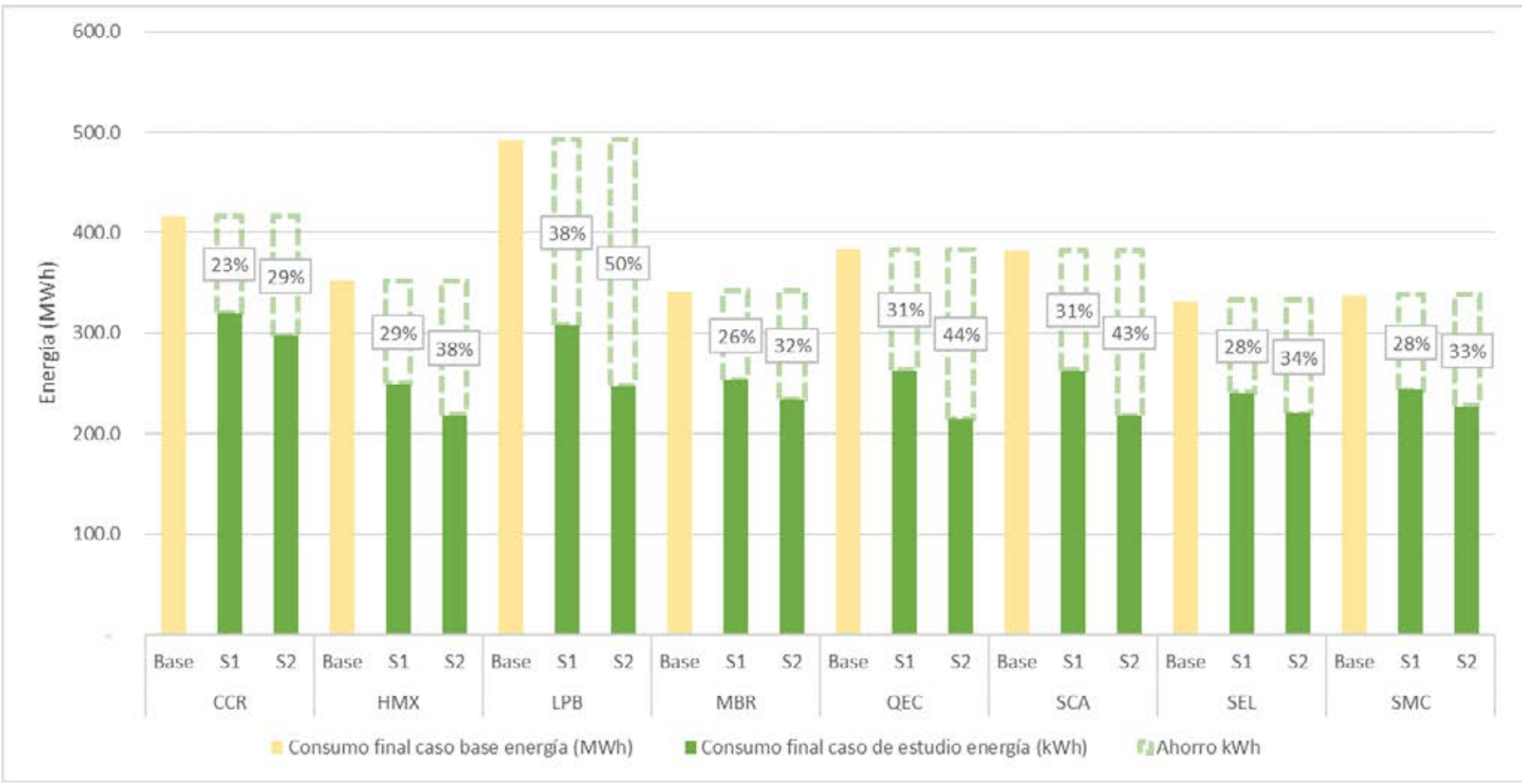


Figura 6. Hospital Universitario - Ahorro energético según ciudad.



Al igual que en el caso del Centro Diagnóstico, en esta tipología la diferencia de ahorros entre las S1 y S2 es prácticamente inexistente.

Los ahorros obtenidos en las S1 y S2, varían según cada país, siendo la S1 de Cartago-Costa Rica el de menor porcentaje de ahorro con un 26%, y las S2 de La Paz-Bolivia el de mayor ahorro con un 54%, pero teniendo este último el mayor consumo en el caso base.

Un caso particular es el de la ciudad de Hermosillo-México (HMX). El uso de ventilación natural y control solar externo en la S1 representan un ahorro de 9.27%, mientras que, con la S2, que incluyen las medidas de colectores solares de agua caliente para atender un 60% de

la demanda y energía fotovoltaica para atender un 10% de la demanda eléctrica, se obtiene un ahorro de 10.21%. En este caso en particular se puede observar que la diferencia entre la S1 y la S2 es del 1% aproximadamente. Sin embargo, el costo incremental de la S2 aumenta casi en USD200,000 dólares debido al alto costo de los equipos requeridos por las medidas seleccionadas.

Al igual que en el caso de los Hospitales de Especialidades Múltiples, los **Hospitales Universitarios (HU)** son edificios complejos en los cuales el equipamiento tiene alta incidencia en el consumo energético. El consumo habitual de un edificio de esta tipología está entre 332,0 MWh y 493.0 MWh al mes.

Al igual que los casos anteriores, el ahorro de consumo energético varía entre el 23% y el 50%, siendo la S2 la de mejor rendimiento debido a las medidas activas de ahorro energético aplicadas.

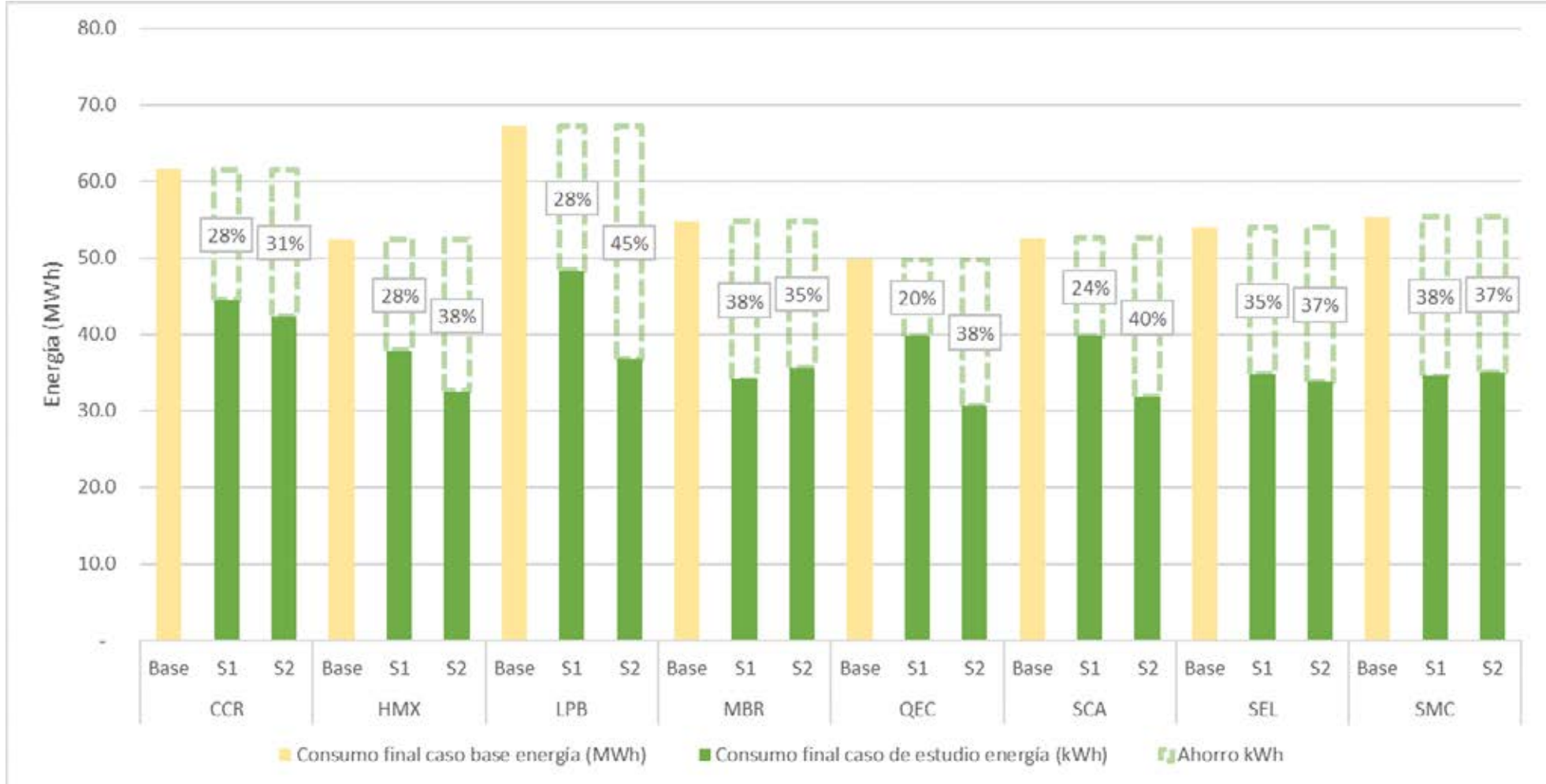
Por último, en el caso de una **Residencia de Ancianos (RA)**, el consumo energético habitual es entre 49,8 M Wh y 67,2 MWh al mes.

En este caso, se puede observar una reducción en el consumo energético que varía entre el 20% y 38% en las S1 y entre el 31% y 45% para las S2, al compararse contra el caso base.

Un caso particular es el de Santa Marta-Colombia: la S1 presenta un 1% más de

ahorro en la categoría de energía debido a que las medidas en conjunto de control solar externo junto con ventilación natural de espacios aportan un ahorro del 15.44%, mientras que en la S2 los colectores solares de agua caliente para un 60% de la demanda junto con la medida de energía fotovoltaica para un 10% de demanda aportan un ahorro de 12.34%. Esto demuestra que en ciudades con temperaturas elevadas existe mayor potencial de optimizar el diseño con la implementación de estrategias pasivas de diseño.

Figura 7. Residencia de Ancianos - Ahorro energético según ciudad.



¿CUÁNTA ENERGÍA CONSUMEN LOS EDIFICIOS DE SALUD?

Tabla 11. Consumo de energía según tipo de edificio.

Tipología	Superficie (m²)	Consumo mínimo mensual (MWh)	Consumo máximo mensual (MWh)	Consumo promedio mensual (MWh)	Consumo promedio mensual (kWh/m²)
Clínica de Pacientes Ambulatorios (CPA1)	300	8,1	10,0	9.05	30.0
Clínica de Pacientes Ambulatorios (CPA2)	1.500 m²	34,0	40,0	37.0	24.7
Centro de Diagnóstico (CD)	5.000 m²	116,0	181,0	148.5	29.7
Hospital de Especialidades Múltiples (HEM)	12.000 m²	380,0	610,0	495.0	41.3
Hospital Universitario (HU)	20.000 m²	332,0	493.0	412.5	21.0
Residencia de Ancianos (RA)	3.000 m²	49,8	67,2	58.5	19.5

¿EN QUÉ CONSUMEN LA ENERGÍA LOS EDIFICIOS DE SALUD?

Analizado el dato del consumo global por tipología, se concluye que desde el punto de vista del consumo energético los edificios se podrían clasificar en dos grupos: 1) los que no cuentan con hospitalización⁷ y 2) los que cuentan con hospitalización⁸.

Con ese agrupamiento es posible analizar en qué consumen la energía los edificios:

Los del grupo 1 (sin hospitalización), no poseen generalmente equipos electromecánicos de alto consumo, ni equipos en cocinas y lavandería, entre otros, los cuales sí están presentes en los edificios del grupo 2 (con hospitalización). Es por ello, que el mayor consumo energético se reporta para este tipo de equipamientos.

A continuación, se comparan las simulaciones realizadas en un ejemplo de cada grupo en la ciudad de Cartago-Costa Rica. En el ejemplo del Hospital Universitario (HU) se evidencia que existe un componente de servicio de comidas y lavandería que tiene una alta incidencia, el cual no aparece en el ejemplo del Centro Diagnóstico (CD).

7 Incluyendo el CPA1, CPA2, CD y RA. Este último, si bien tiene alojamientos, no se consideran hospitalización.

8 Incluyendo el HEM y el HU.

Figura 8.
Consumo de
Energía / m² /
año. CCR-CD-
Simulación 1 y 2.

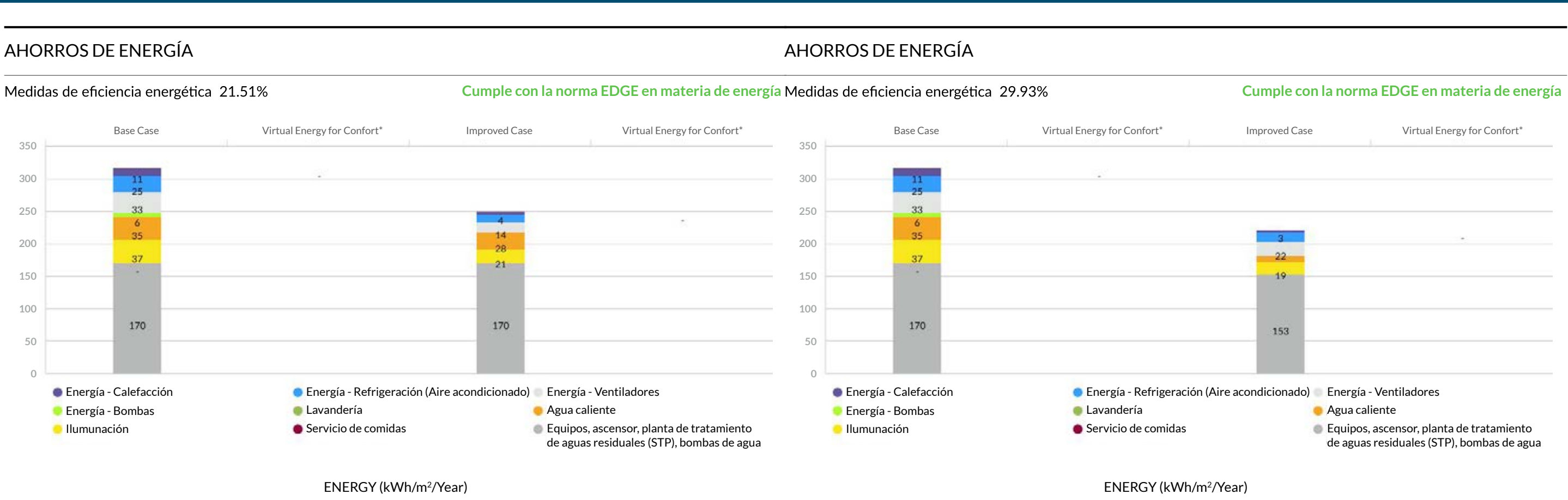
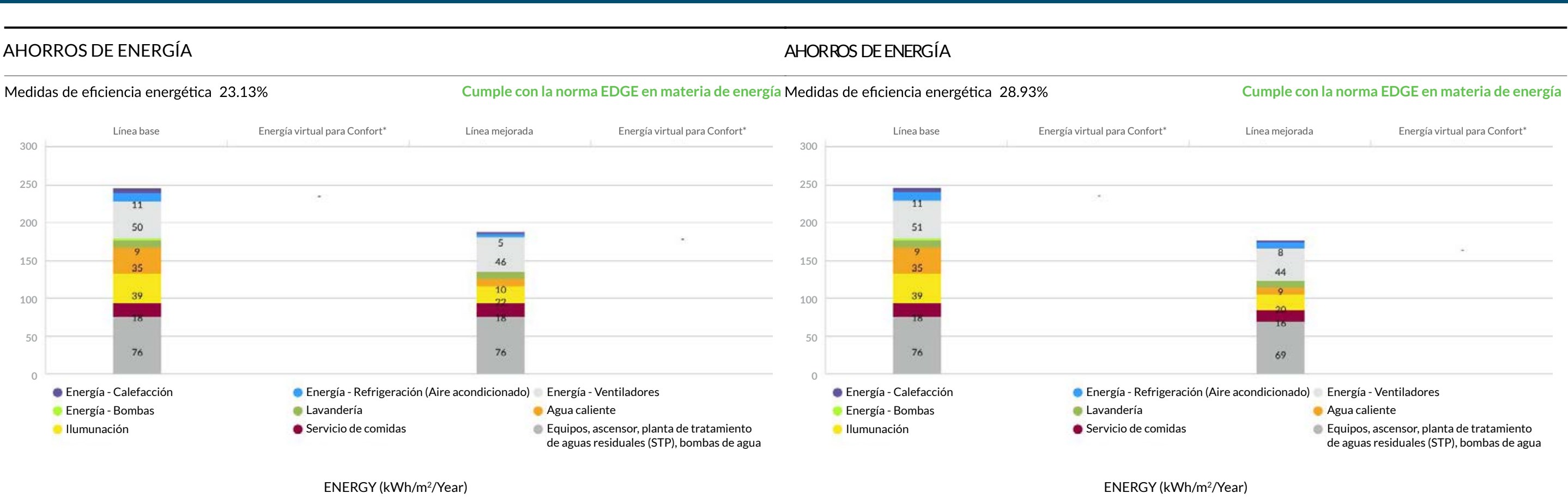


Figura 9.
Consumo de
Energía / m² /
año. CCR-HU-
Simulación 1 y 2.



EL CASO PARTICULAR DE LA PAZ-BOLIVIA

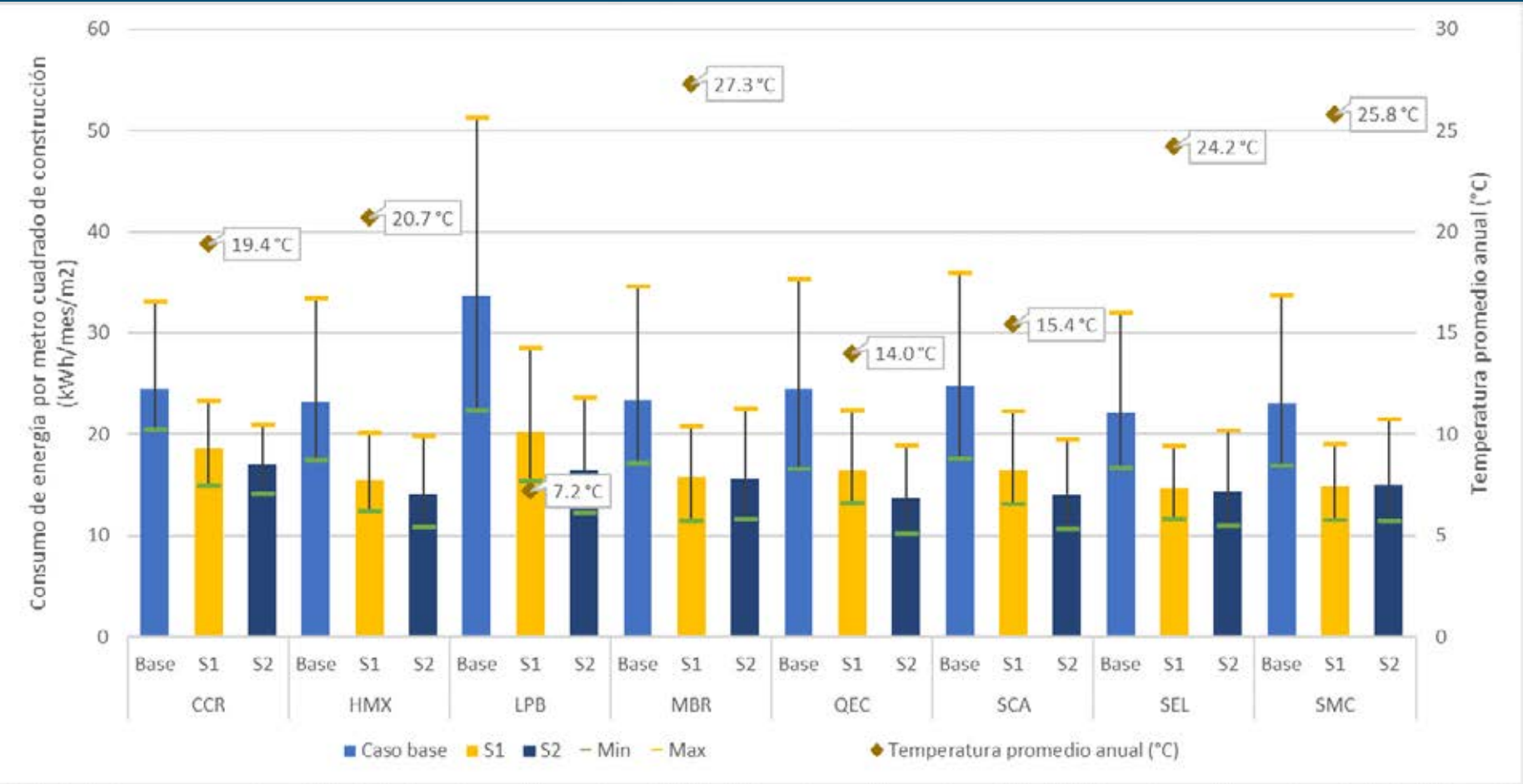
De las ciudades analizadas, el caso de La Paz-Bolivia es el que representa mayor consumo de energía en su línea base. La demanda por calefacción tiene gran incidencia, tal como se ha mencionado anteriormente.

Si se analiza el consumo por metro cuadrado (m²) de todas las tipologías, se concluye que el consumo por metro cuadrado para La Paz-Bolivia es

considerablemente mayor que en las otras ciudades; y, de igual forma, se nota que la temperatura promedio es considerablemente menor.

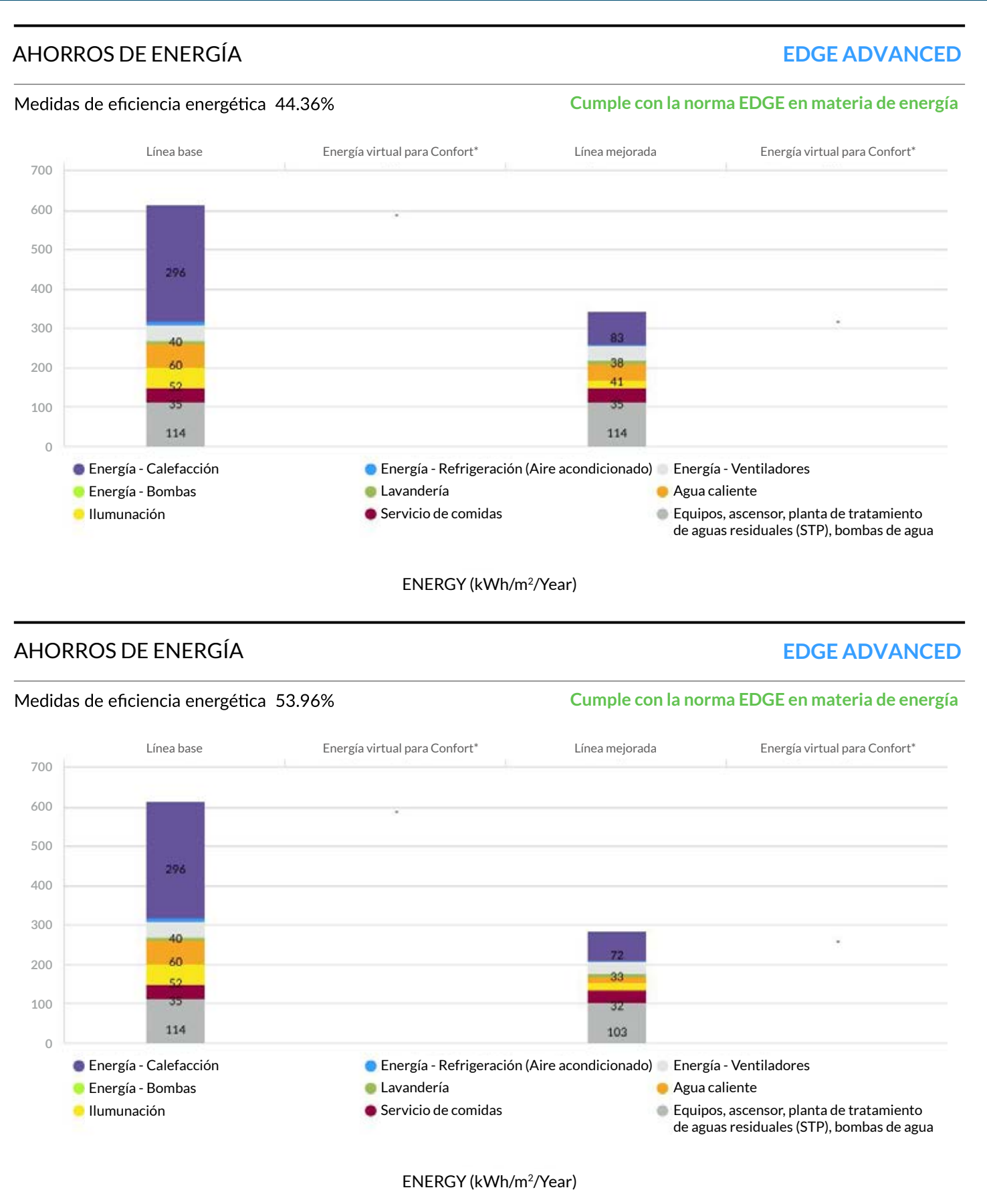
Si se analiza, como en los casos anteriores, el caso del Hospital de Especialidades Múltiples, se puede observar el impacto que tiene el clima frío en el consumo energético para la calefacción.

Figura 10. Consumo de energía promedio por m² por ciudad.



Nota: Las barras indican los valores máximos y mínimos de las tipologías

Figura 11. Consumo de energía anual (m²/ año). LPB-HEM-Simulación 1 y 2.



8.2 Agua

En el caso de ahorro de agua, se realizaron con la misma metodología dos simulaciones para cada una de las tipologías y ciudades. En este caso, los resultados se indican como promedio por ciudad para todas las tipologías, ya que no se evidenciaron diferencias sustanciales entre ciudad.

Para todas las tipologías se aplicaron las mismas medidas de ahorro, obteniéndose un valor de consumo de agua por año por

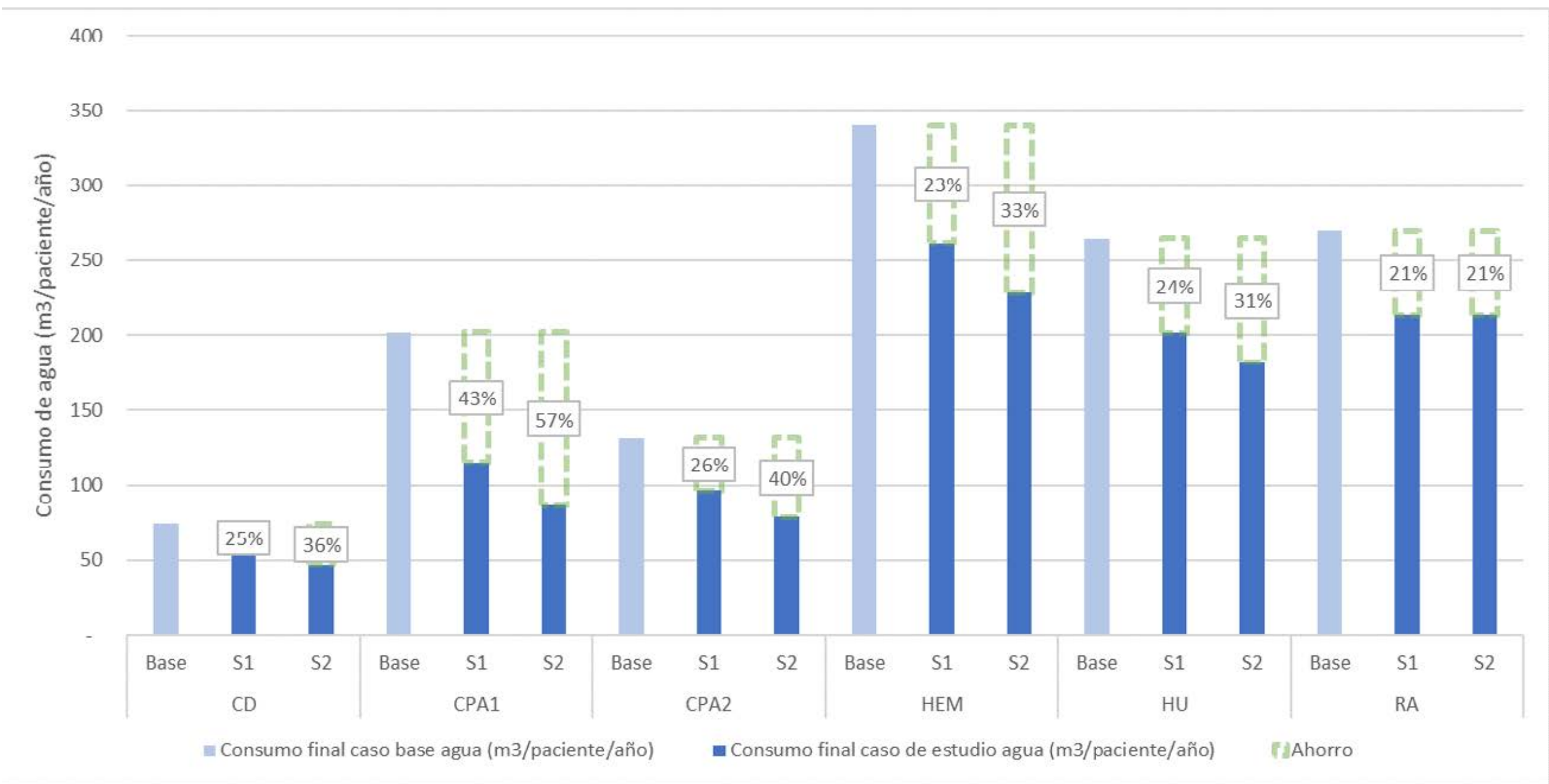
metro cuadrado, así como el ahorro en el caso de la S1 y S2.

Al igual que en el caso de energía, las tipologías de edificios se podrían agrupar según la distribución de uso final de agua potable. En ese sentido, se identifican **dos tipos de edificaciones**, las que cuentan con infraestructura de **camas y lavandería**, (HEM, HU y RA) y las que no cuentan con ese tipo de servicios (CPA1, CPA2 y CD). En general, se lograron ahorros entre el 21% al 43% en el caso de

tipologías sin camas, y entre un 23% a un 33% en aquellos que cuentan con camas.

En todos los casos, los consumos y ahorros son altos cuando se implementan griferías y aparatos sanitarios eficientes, y la magnitud de ahorros depende de la cantidad de baños, es decir, de la cantidad de pacientes que el edificio alberga. Sin embargo, en los casos de edificios con camas y lavandería, si se adicionan los servicios de alimentación, se incrementa sustancialmente el consumo de agua.

Figura 12. Promedio de consumo de agua diario (m³/paciente Simulaciones 1 y 2.



¿EN QUÉ CONSUMEN EL AGUA LOS EDIFICIOS DE SALUD?

Los edificios que no cuentan con camas y servicio de lavandería presentan un comportamiento similar en cuanto al consumo de agua potable. La siguiente figura muestra la distribución de consumo de agua potable para los Centros de Diagnóstico, tanto para la S1 como para la S2. Esta distribución es muy similar para las CPA1 y CPA2. El mayor consumo y ahorro se encuentra en las categorías de griferías y aparatos sanitarios sumados, lo que permitiría concluir que hay una relación directa entre la superficie y el consumo de agua.

Por otra parte, la distribución de consumo de agua potable en el Hospital Universitario, tanto para la S1 como para la S2 es muy similar a la de un Hospital de Especialidades Múltiples. Si bien la proporción de consumo en grifería y aparatos sanitarios está directamente relacionada con la escala del edificio, el diferencial de consumo lo representan los servicios de alimentación y lavandería.

Figura 13. Consumo de agua diario por paciente. CCR-CD-Simulación 1 y 2.

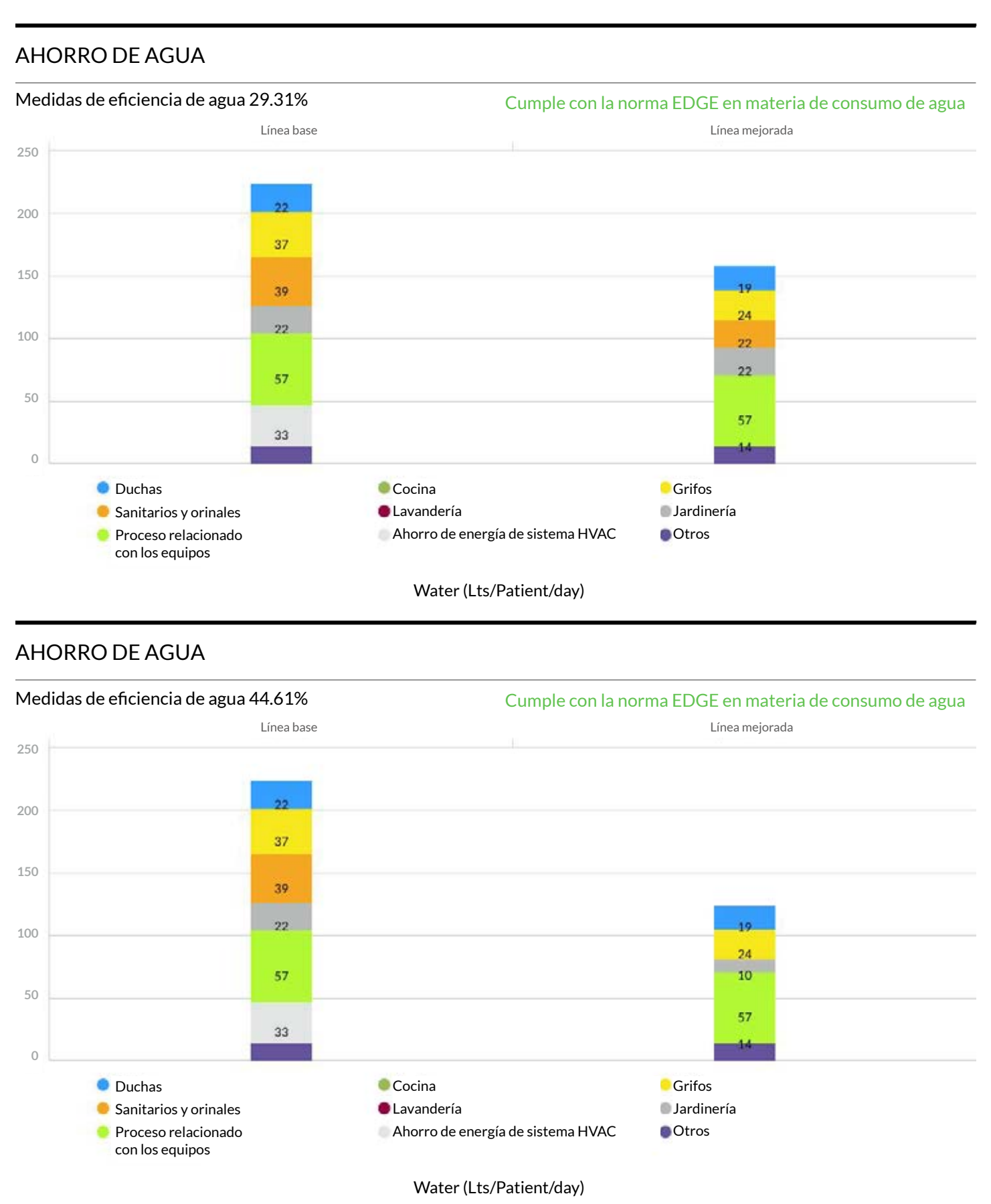
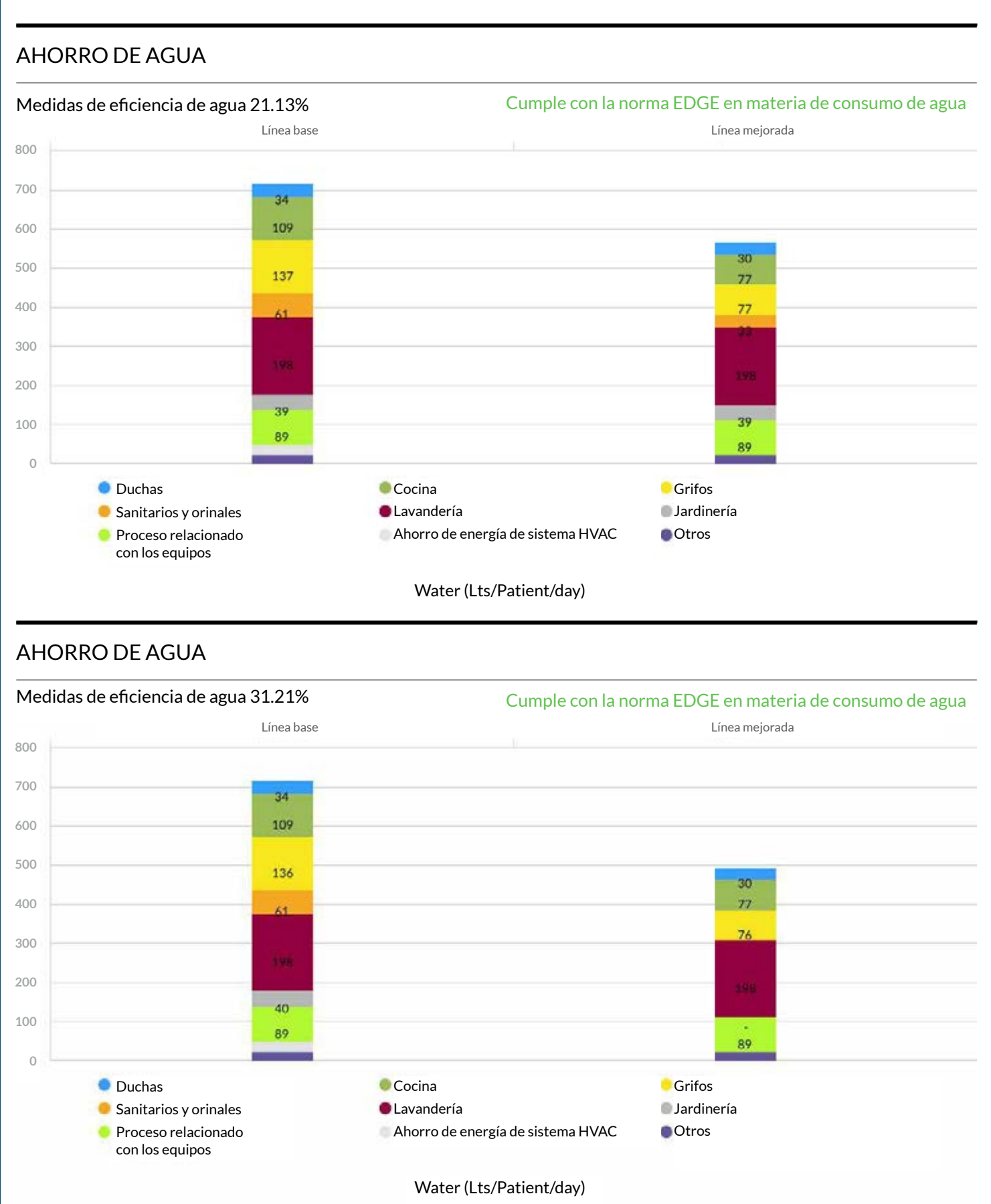


Figura 14 Consumo de agua diario por paciente. CCR-HU-Simulación 1 y 2.



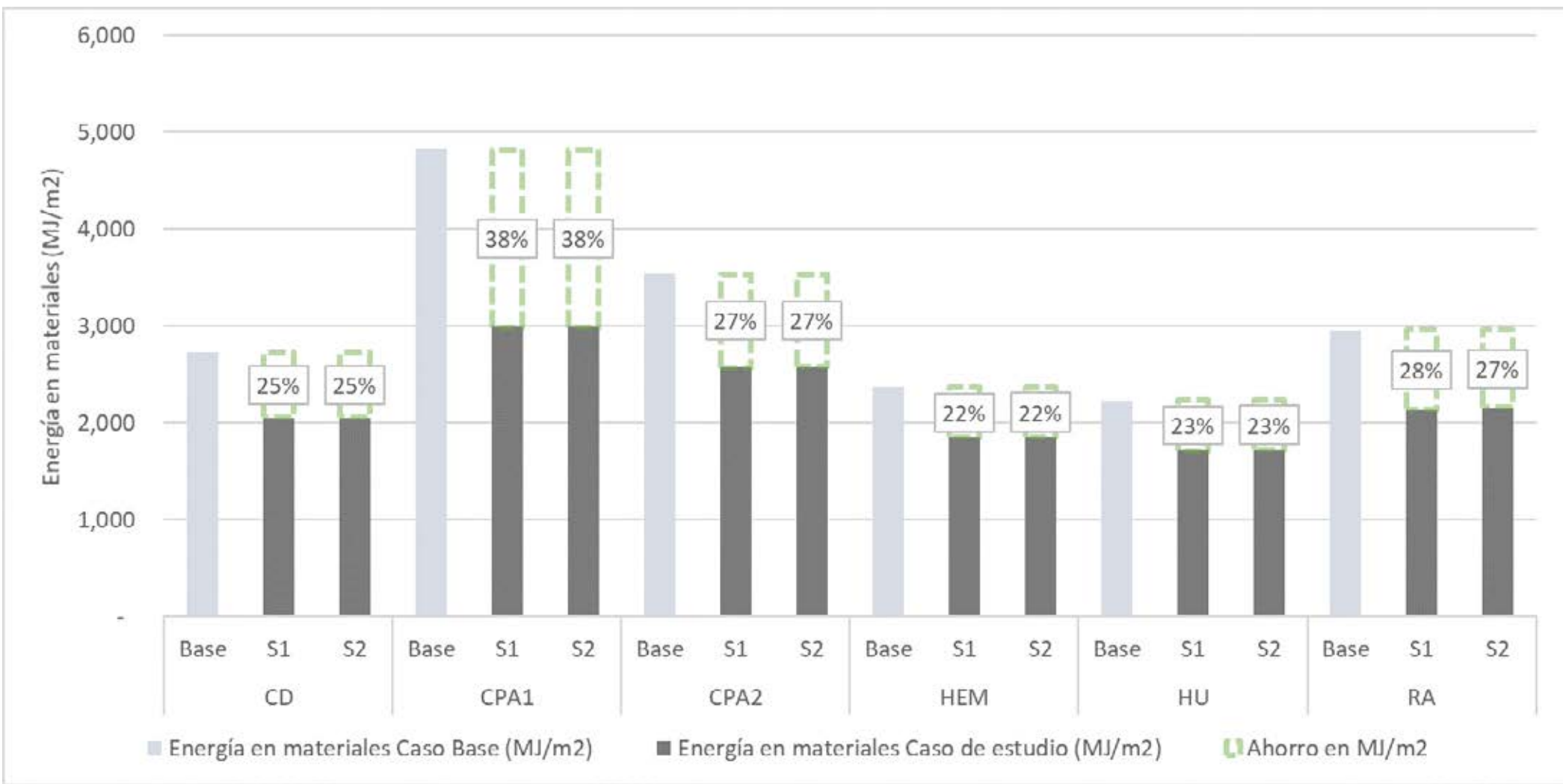
8.3 Materiales

Como se explicó en el capítulo anterior, no existe diferencia entre los materiales seleccionados para las S1 y S2, por lo cual los resultados son prácticamente iguales. Como se indicó antes, luego de múltiples interacciones con distintos tipos de materiales en la aplicación EDGE, se optó por utilizar una combinación de

materiales que lograba el menor costo incremental con el mayor ahorro en energía incorporada.

En el caso de los materiales, el ahorro en la energía incorporada en estos se ha establecido entre un 22% y 38% con relación a la línea base, según el tipo de edificio.

Figura 15. Promedio de energía incorporada en los materiales. Simulación 1 y 2.



MALLA 3D CON CONCRETO PROYECTADO Y POLIESTIRENO

El empleo de este material para paredes exteriores e interiores tiene un alto impacto en el ahorro de energía incorporada en los materiales, y adicionalmente, repercute en las necesidades de climatización del edificio. En el ejemplo siguiente se muestra como para el caso del Centro de Diagnóstico en Cartago-Costa Rica, esta solución, combinada solamente con el uso de marcos de ventanas de PVC no plastificado, reduce un 24.76% la energía incorporada en los materiales.

Empleando el mismo material en una tipología de mayor complejidad, como puede ser el Hospital Universitario en la misma ciudad, se pueden observar resultados similares.

Figura 16. Energía incorporada en los materiales / m². CCR-CD-Simulación 1 y 2.

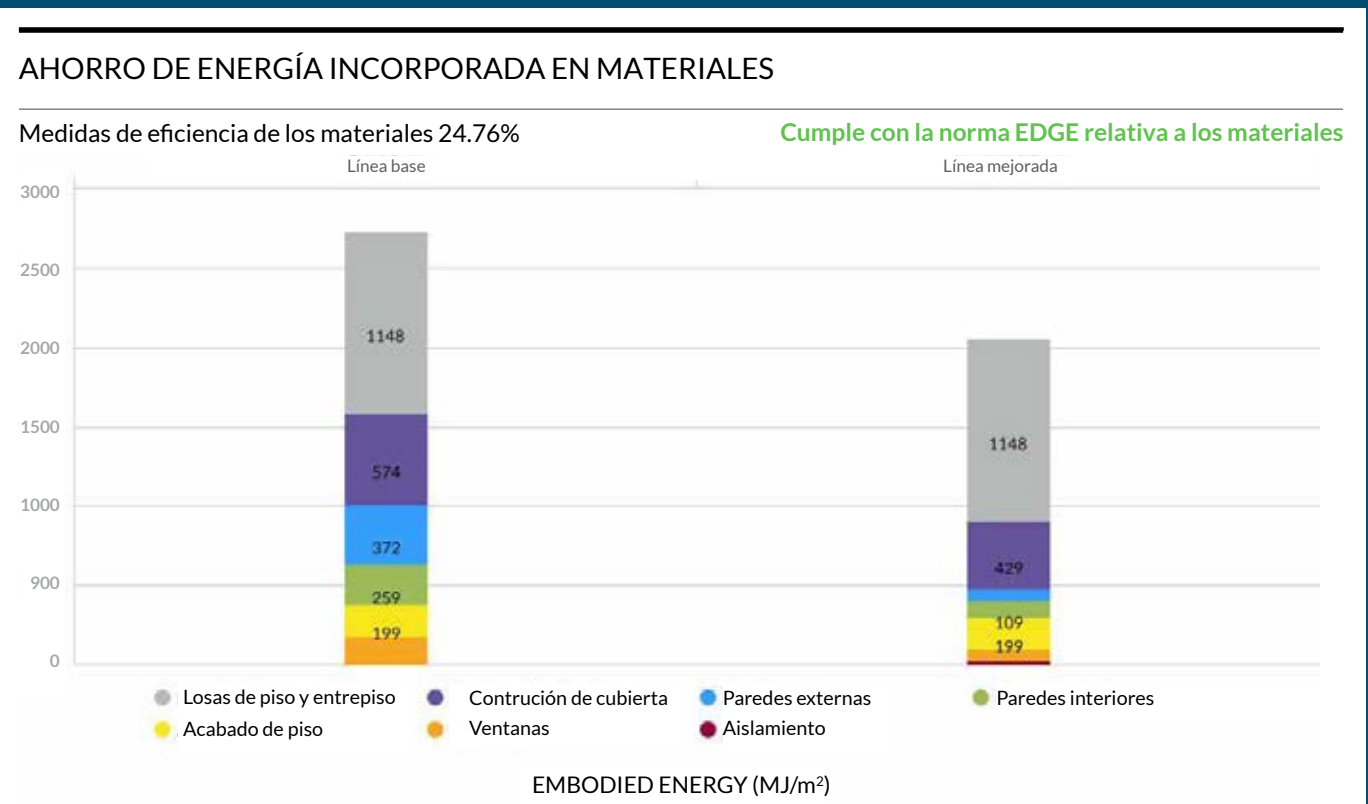
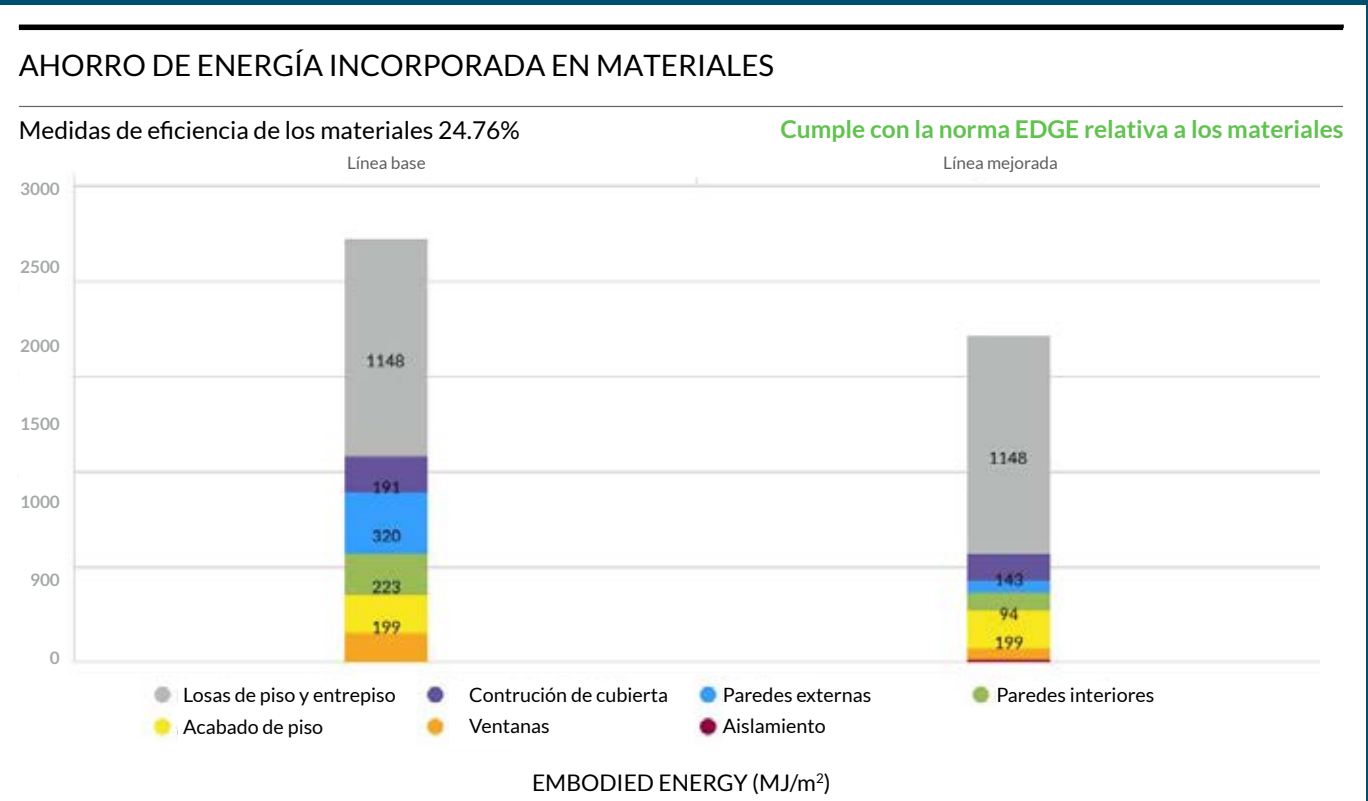


Figura 16. Energía incorporada en los materiales / m². CCR-HU-Simulación 1 y 2.

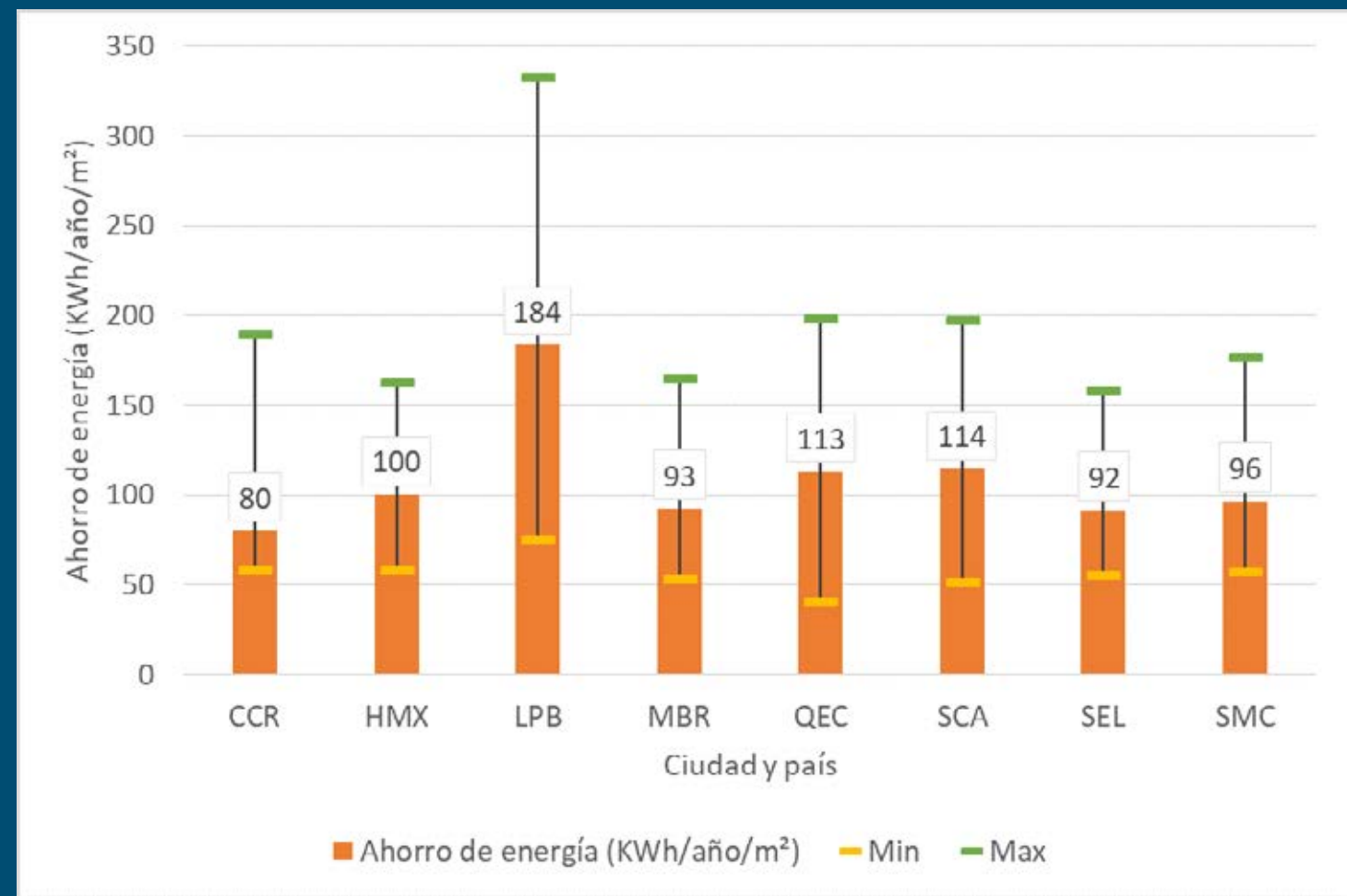


¿CUÁNTO PODEMOS AHORRAR?

ENERGÍA

Se podría ahorrar en promedio 109 kWh por m² de construcción.

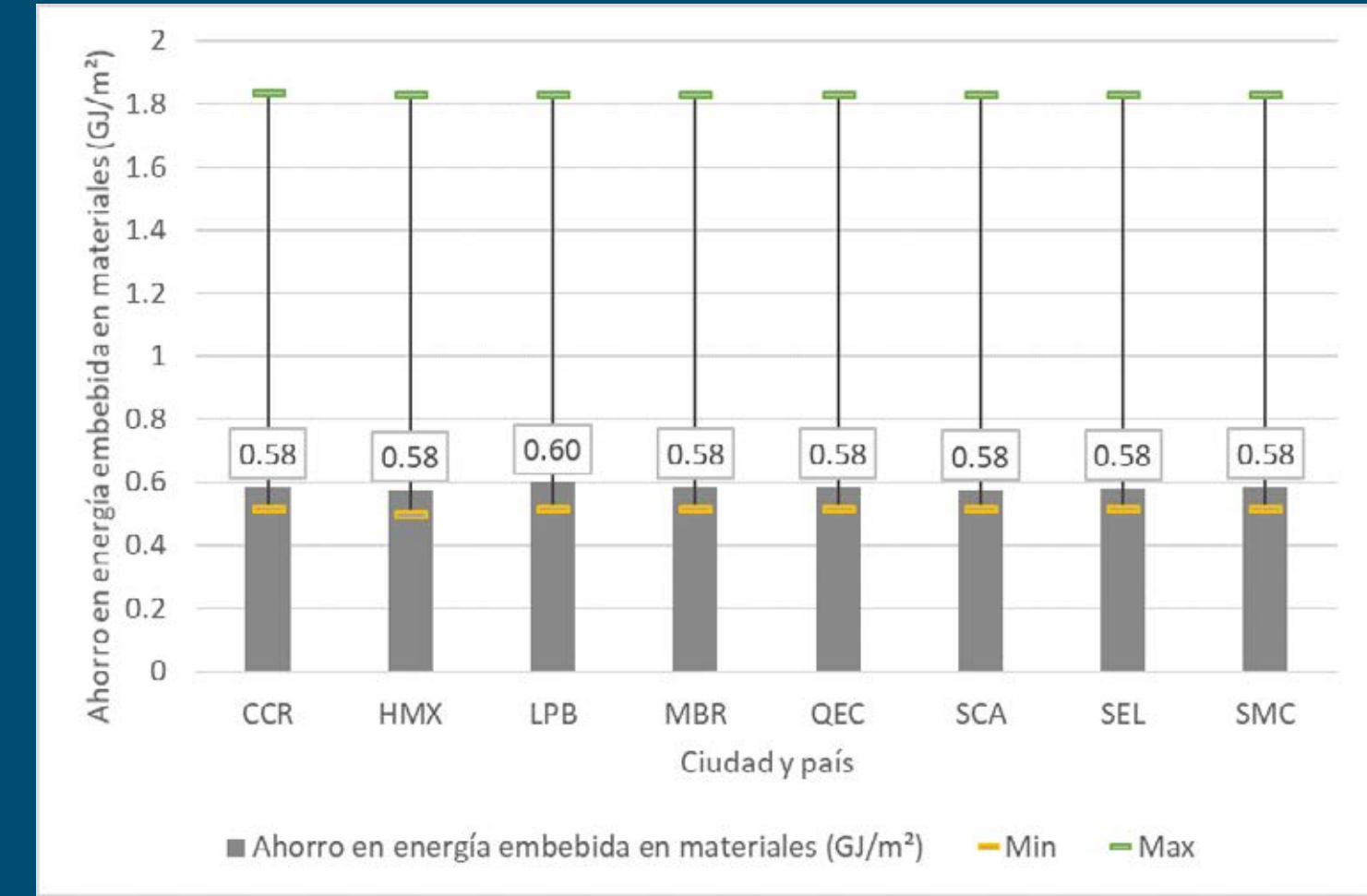
Figura 18. Ahorro anual de energía por m² para diferentes ciudades.



ENERGÍA INCORPORADA EN LOS MATERIALES

Se podría ahorrar en promedio 0.6 GJ en materiales por m² de construcción.

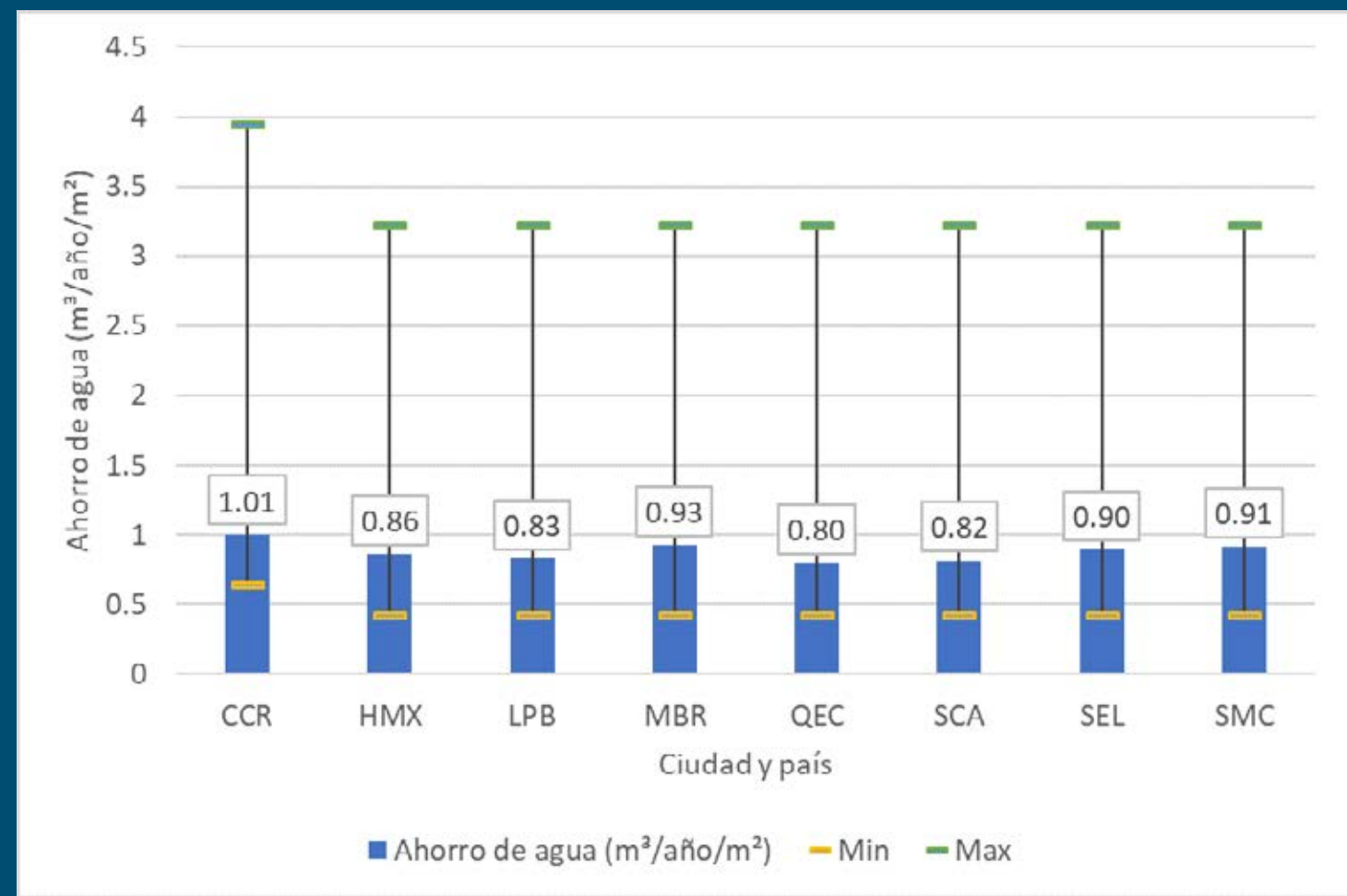
Figura 20. Ahorro en energía incorporada en los materiales por m² para diferentes ciudades.



AGUA

Se podría ahorrar en promedio 0.9 m³ de agua por m² de construcción.

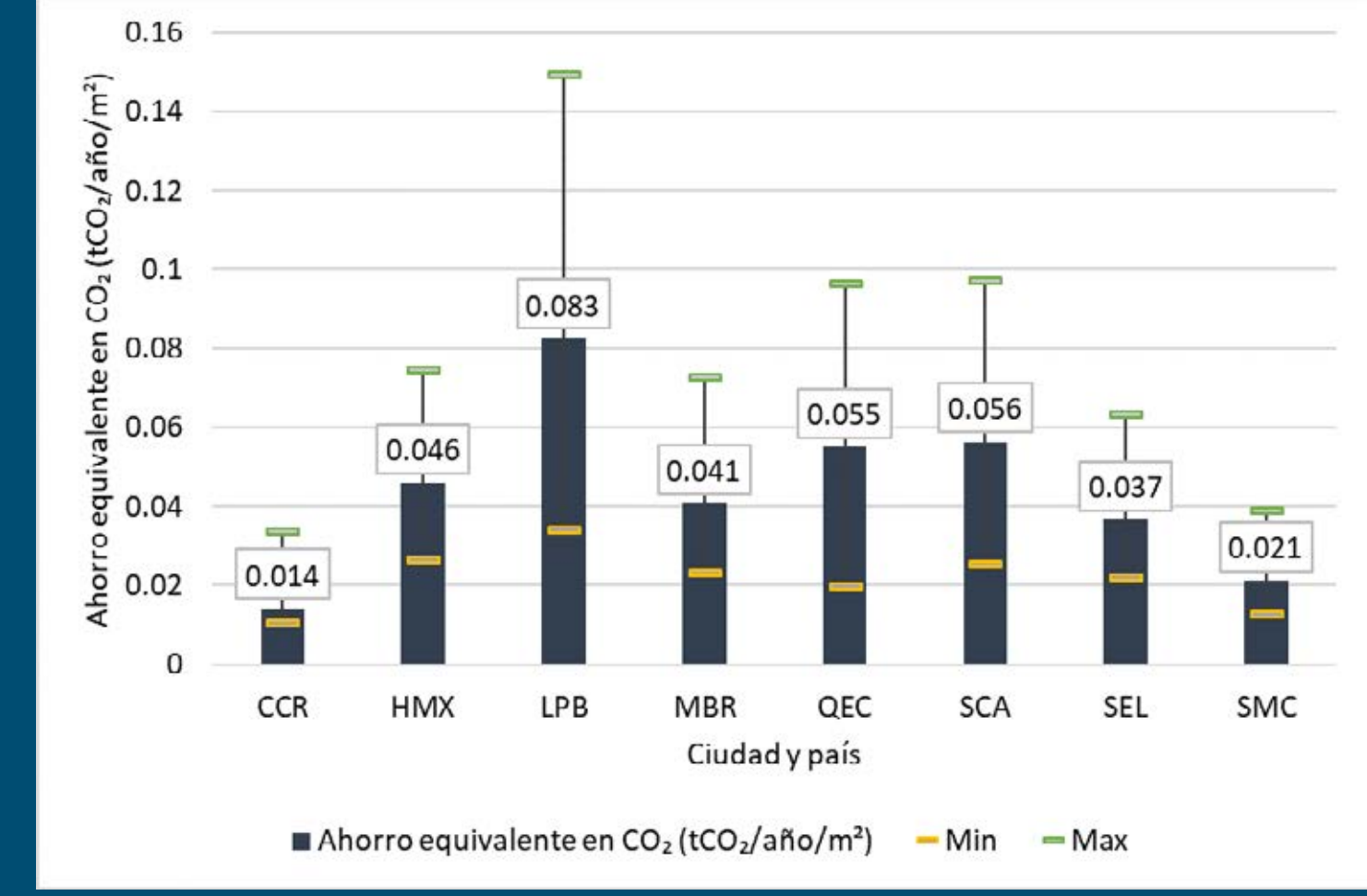
Figura 19. Ahorro anual de agua por m² para diferentes ciudades.



EMISIONES DE CO₂

Se podría ahorrar en promedio 44 kCO₂ por m² de construcción.

Figura 21. Ahorro en emisiones por m² para diferentes ciudades.



> Tips:

Es de gran importancia la implementación de estrategias de ahorro energético que sean sencillas de implementar, técnicamente viables y con un menor tiempo de retorno posible. No solo hay que evaluar el ahorro energético, sino el costo de su implementación y operación y mantenimiento.

De acuerdo con el análisis entre inversión y ahorro de energía, el mejor balance, considerando los casos propuestos, se obtiene cuando se considera un 60% de la demanda de agua caliente atendida por colectores solares térmicos y un 10% de la demanda de energía atendida por paneles fotovoltaicos.

En el caso de clima cálido seco, con altas temperaturas y baja humedad, las medidas pasivas son más costo-efectivas. Mientras que en un clima frío, donde se requiere más aislamiento y calefacción estas medidas serán probablemente menos costo-efectivas.

Utilizar sistemas de aire acondicionado tipo VRF reduce sustancialmente el consumo de agua ya que estos no requieren de la utilización de agua potable para los procesos de enfriamiento del condensador.

La reutilización de aguas grises para descargas de inodoros y artefactos sanitarios tiene un alto impacto en el ahorro de agua potable. En las simulaciones está entre un 5% y un 15% dependiendo del tipo de edificio.

Desde el punto de vista de la inversión, es más costo-efectivo la reutilización de aguas grises que la reutilización de agua de lluvia.





9. Análisis financiero de los casos de estudio

Desde el punto de vista financiero hay dos elementos clave para tener en cuenta: el costo incremental de las medidas incorporadas y el potencial ahorro en el costo de los servicios públicos.

Para realizar el análisis financiero y el cálculo de los anteriores indicadores se tomó como base la aplicación de EDGE, ya que considera ambos factores: el costo incremental y el costo de las tarifas de servicios públicos. Sin embargo, debido a que EDGE actualiza las tarifas de servicios públicos aproximadamente cada 3 años, se realizó también el análisis financiero empleando costos de servicios públicos de mercado a octubre 2019⁹.

⁹ EDGE establece unos costos de construcción y de servicios públicos resultado de su actualización periódica, los cuales son empleados por defecto. Sin embargo, estos valores son editables y pueden ser modificados. La Guía de Usuario recomienda revisar los costos establecidos por defecto y ajustarlos en caso de ser necesario.

Costo incremental:

Es el dinero adicional que se requiere para la incorporación de las medidas de eficiencia seleccionadas, en comparación con el costo de construcción de la línea base.

Ahorro en los servicios

públicos: Es el costo mensual que se ahorra en las facturas de los servicios públicos, producto del menor consumo por las medidas de ahorro implementadas.

9.1 Análisis financiero empleando EDGE

EDGE cuenta con una base de datos de costos de construcción y de servicios públicos por ciudad. Estos datos están basados en datos globales promedio y se afinan periódicamente. Estos resultados se presentan de manera orientativa a efectos de la comparación entre las medidas.

De las 8 ciudades (países) analizadas, Costa Rica tiene el costo de servicios públicos más alto, como se refleja en la figura 11.

Con el fin de comparar diferentes tipologías y ciudades/países se procedió a calcular el costo incremental y el ahorro de servicios públicos por metro cuadrado de construcción.¹⁰

Similarmente a lo observado con el costo de las tarifas de servicios públicos,

10 Las barras de desvío en la variable costos por servicios públicos representan los valores mínimos y máximos que puede tomar la variable en las combinaciones de tipología y simulación.

Cartago-Costa Rica posee el **costo incremental** por metro cuadrado de construcción más alto en comparación con las demás ciudades. **En Cartago el costo incremental es superior a los USD21/m²** mientras que en las otras ciudades varía entre **USD10-USD17/m²**, teniendo **Hermosillo-México con el valor más bajo.**

La viabilidad económica-financiera de un proyecto depende de muchos factores. Este documento se enfoca en el análisis financiero mediante el cálculo de algunos indicadores básicos para cada escenario.

Figura 22. Tarifas eléctricas y de agua por país según EDGE.

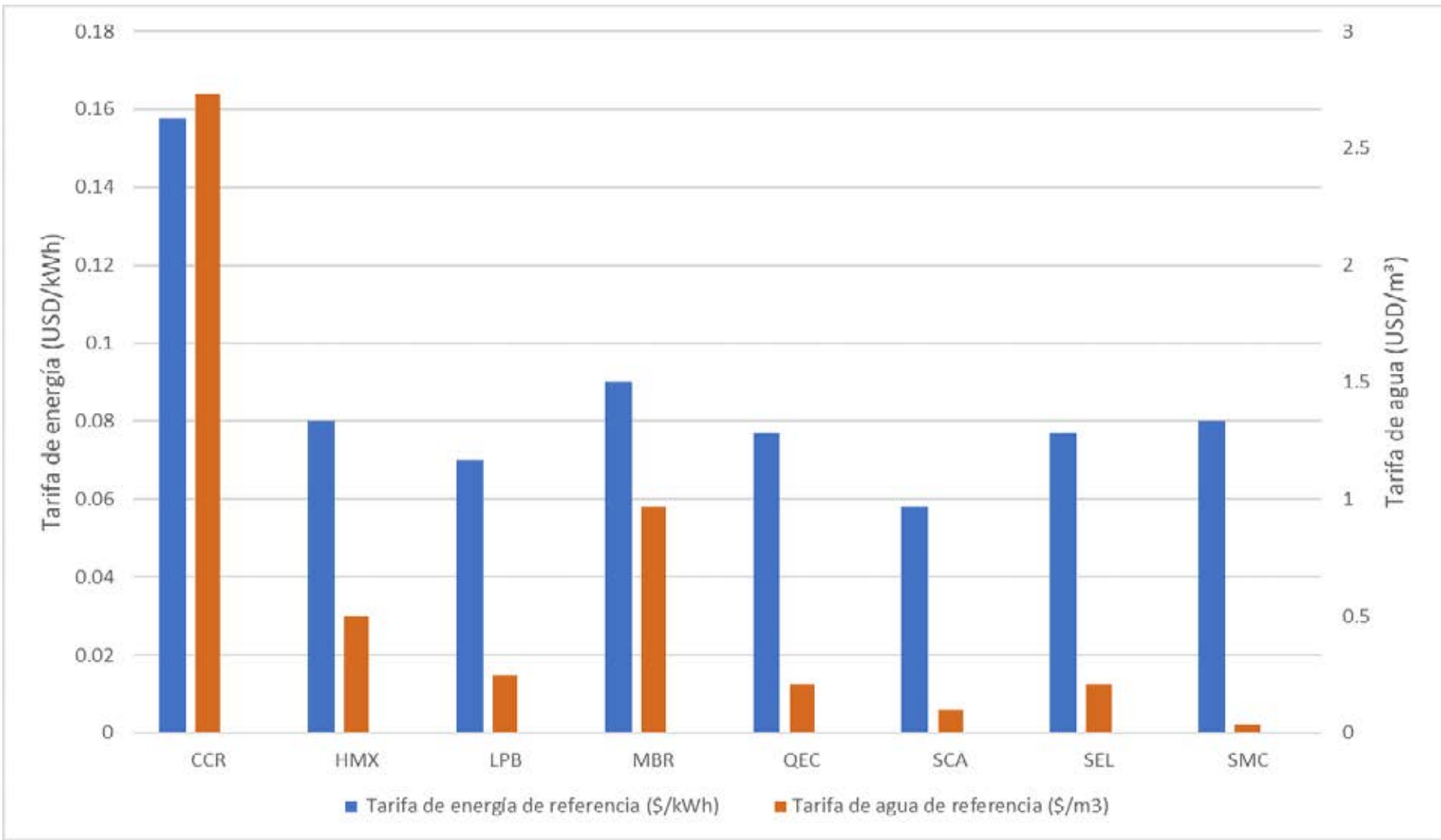
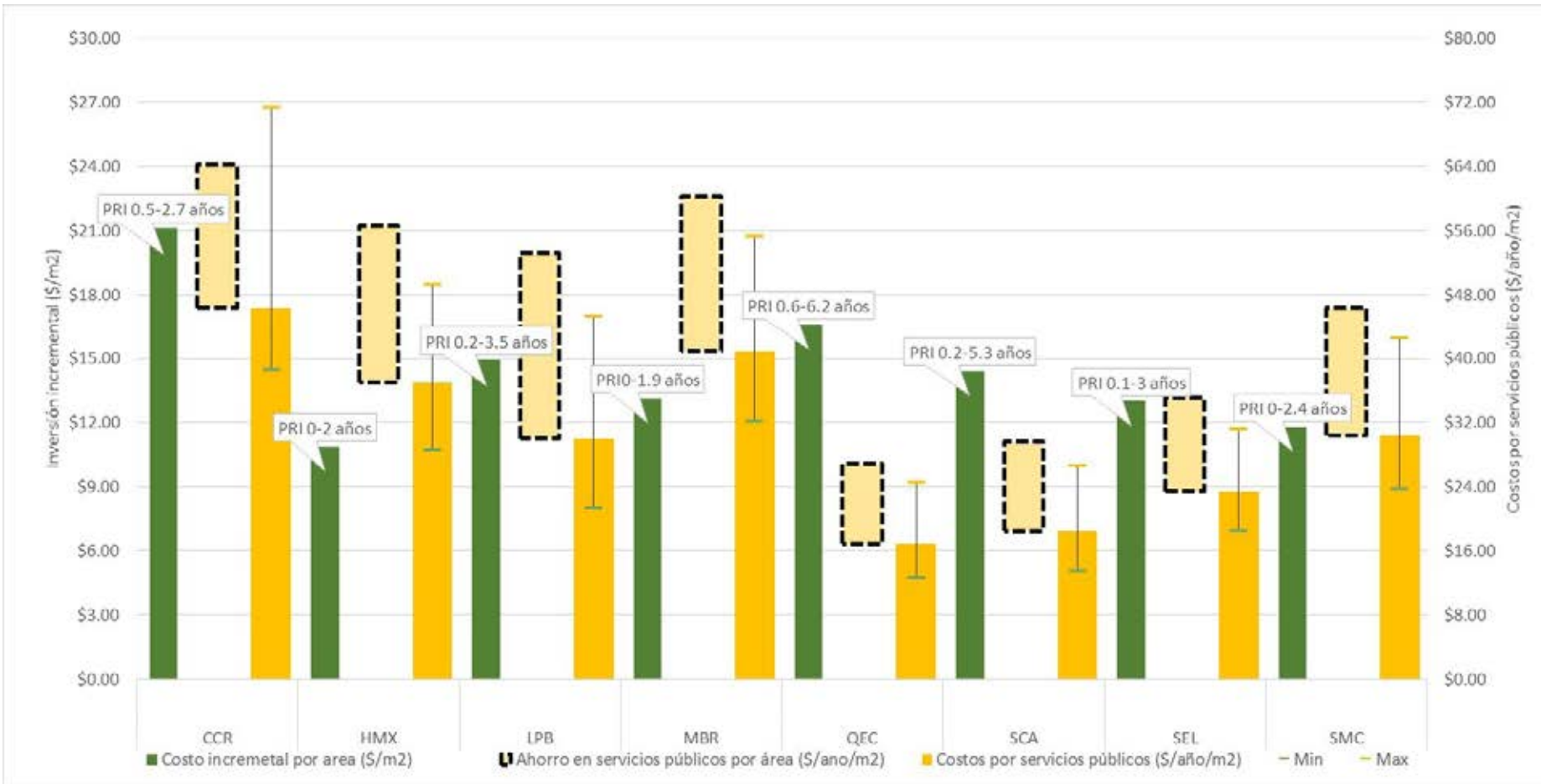


Figura 23. Costo incremental por m² y ahorro en diferentes ciudades por año.



Valor Actual Neto (VAN): Valoriza los flujos futuros al presente, o, dicho de otra forma, determina la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos futuros que genera un proyecto y compara esta equivalencia con la inversión inicial. El ejercicio presentado aquí considera como inversión inicial, al costo incremental, y a los ahorros en servicios públicos, como los flujos futuros del proyecto. También se calculó con una tasa de descuento de 10% y 15 años de flujos.

Tasa Interna de Retorno (TIR): Es la tasa de descuento con la que el valor actual neto (VAN) es igual a cero.

Periodo de recuperación de la Inversión (PRI): Es la cantidad de años necesarios para recuperar la inversión, la cual surge de dividir el costo incremental entre el ahorro promedio anual ahorros del primer año.

Realizado el análisis de estos indicadores para las diferentes simulaciones, se obtienen resultados financieramente atractivos. Por ejemplo, el promedio de Cartago-Costa Rica muestra un VAN positivo, es decir, el proyecto crea valor o el ahorro en servicios públicos es mayor que el costo incremental para realizar las inversiones que permitan obtener una certificación como EDGE. Para el mismo

caso, la TIR es de 73% que es mayor que la tasa de descuento elegida (10%) para este ejercicio, lo que en otras palabras implica que la tasa de rendimiento es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión. Esta tasa implicaría que por USD21 adicional que se invierta en cada metro cuadrado, se logra generar un ahorro de USD15 por metro cuadrado cada año.

9.2 Análisis financiero según tarifas de mercado

Una vez analizados los resultados financieros producto de las simulaciones en EDGE, se procedió a realizar el cálculo con base en una investigación de las tarifas de mercado de los servicios públicos de cada uno de los países de estudio. De esta manera, el análisis financiero puede ser perfeccionado y contrastado por dos vías diferentes.

Las tarifas utilizadas fueron producto de una investigación de los precios de mercado con empresas comercializadoras de cada ciudad/país, considerando para la electricidad una tarifa acorde al tipo de edificio y consumo esperado. Los valores de costo de energía y agua empleados para este segundo análisis y su referencia se encuentran en el Anexo 7.

Figura 24. Indicadores financieros de las ciudades.

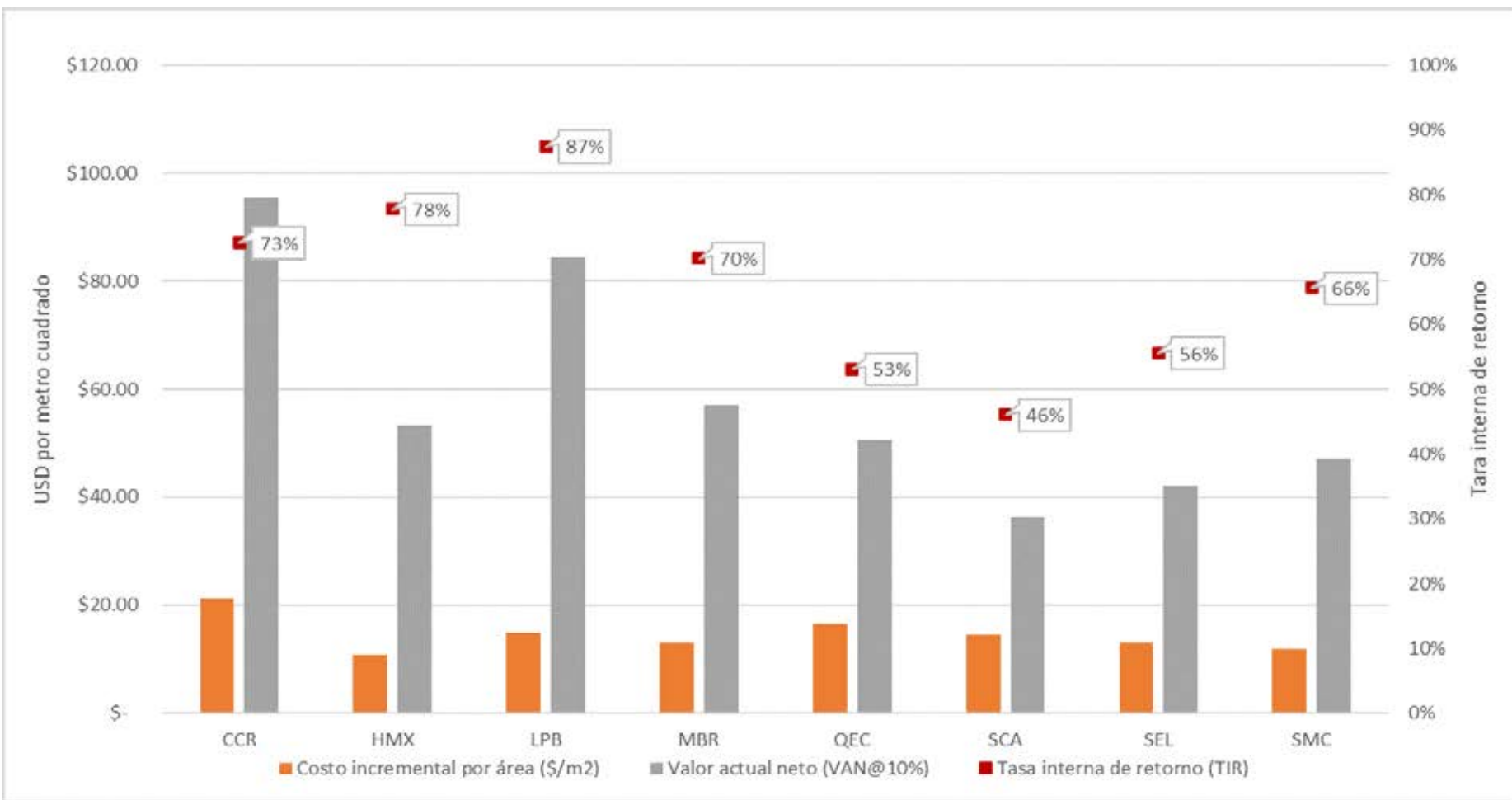
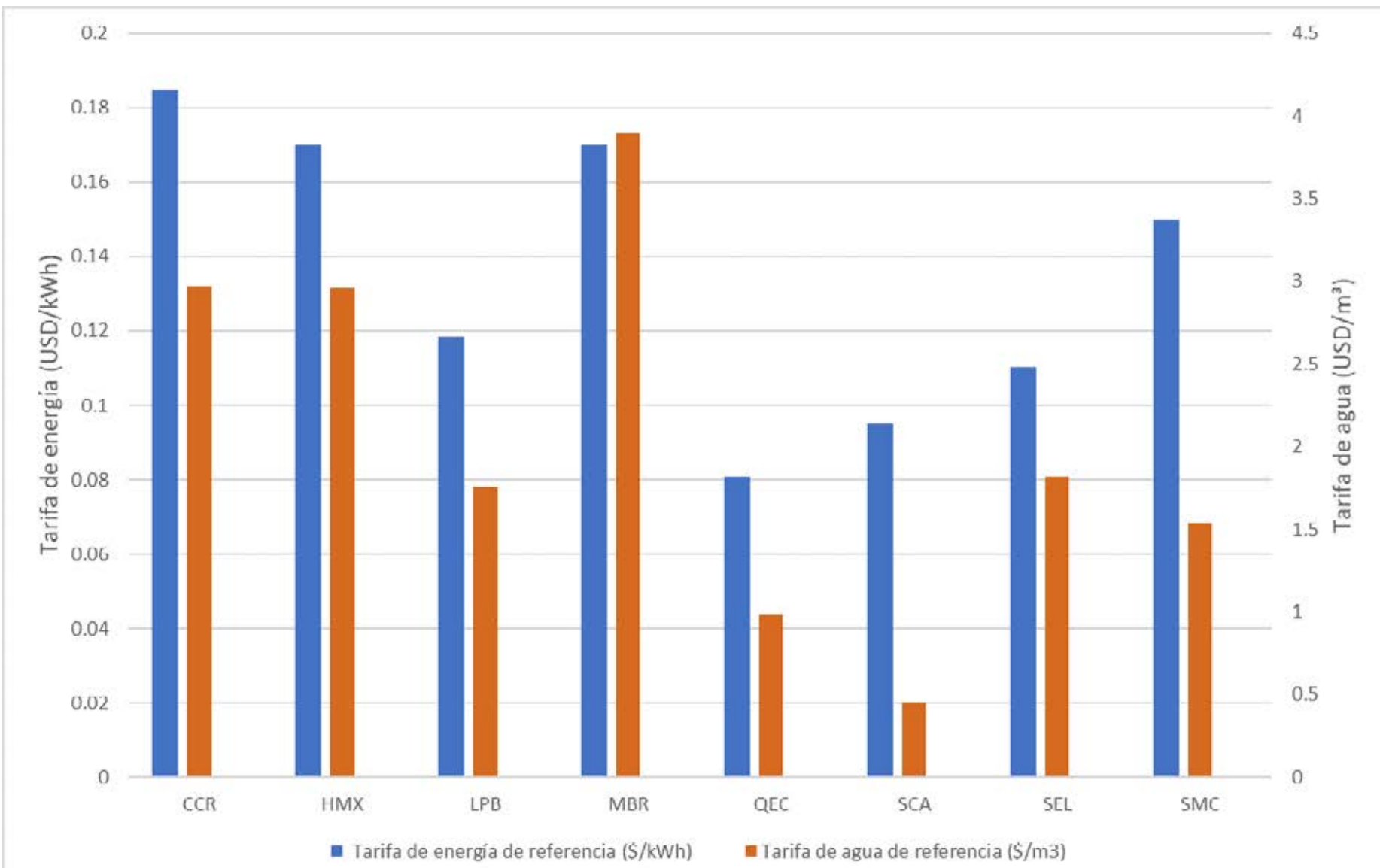


Figura 25. Tarifas eléctricas y de agua por ciudad/país según a precios de mercado.



Con este análisis, se verificó que, si bien los costos de agua y energía en Cartago-Costa Rica siguen siendo altos como lo indicaba EDGE, la diferencia no es tan significativa con las demás ciudades del estudio. Asimismo, la tarifa de agua de Manaos-Brasil parece estar por encima de toda las demás. Con estos datos se procedió nuevamente a calcular los indicadores financieros calculados previamente.

Con este segundo análisis que considera las tarifas de mercado, los retornos de la inversión simple se ven reducidos. Esto se debe a que el costo incremental permanece inalterado (calculado según EDGE), mientras que se obtiene un mayor ahorro por el pago de servicios públicos. En el caso de Puerto Santa Cruz-Argentina, se observa el cambio más significativo, ya que el PRI que en el primer análisis era de 9 años pasa a 5.3 años en el segundo análisis.

La TIR se encuentra por encima del 10%, por lo cual queda comprobado que las medidas de ahorro seleccionadas con la aplicación EDGE son económicamente viables.

En conclusión, realizado el análisis financiero con los datos de costo incremental de EDGE, y los datos de tarifas públicas tanto de EDGE como de la investigación de mercado, se pudo verificar que los indicadores financieros presentan resultados atractivos. En ese sentido, si bien se puede considerar que las tarifas de servicios públicos de EDGE puedan estar desactualizadas (se actualizan cada 3 años), igualmente las medidas de diseño seleccionadas generan ahorros en tiempos de retorno aceptables.

Figura 26. Costo incremental por m² y ahorro por ciudad con tarifas de precios de mercado.

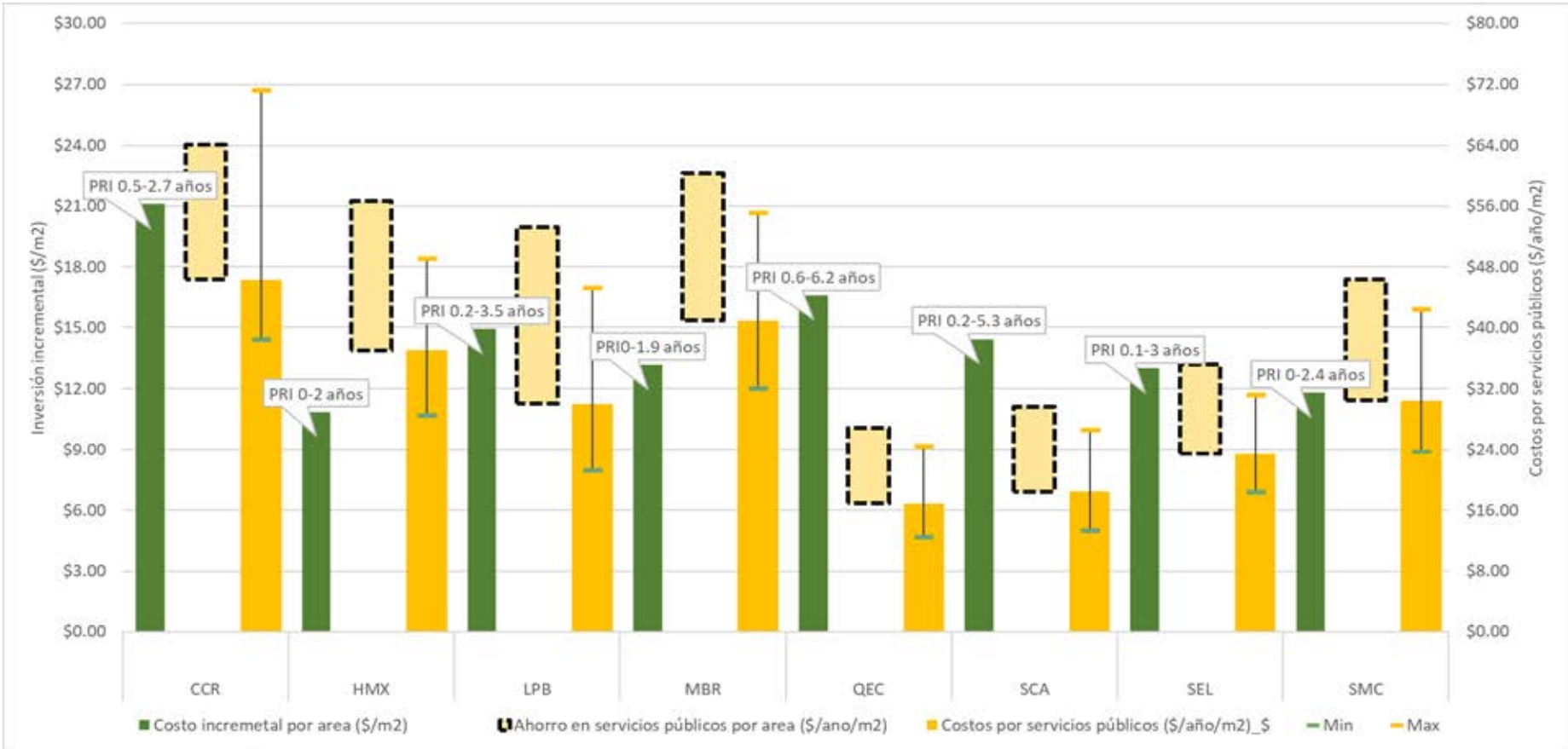
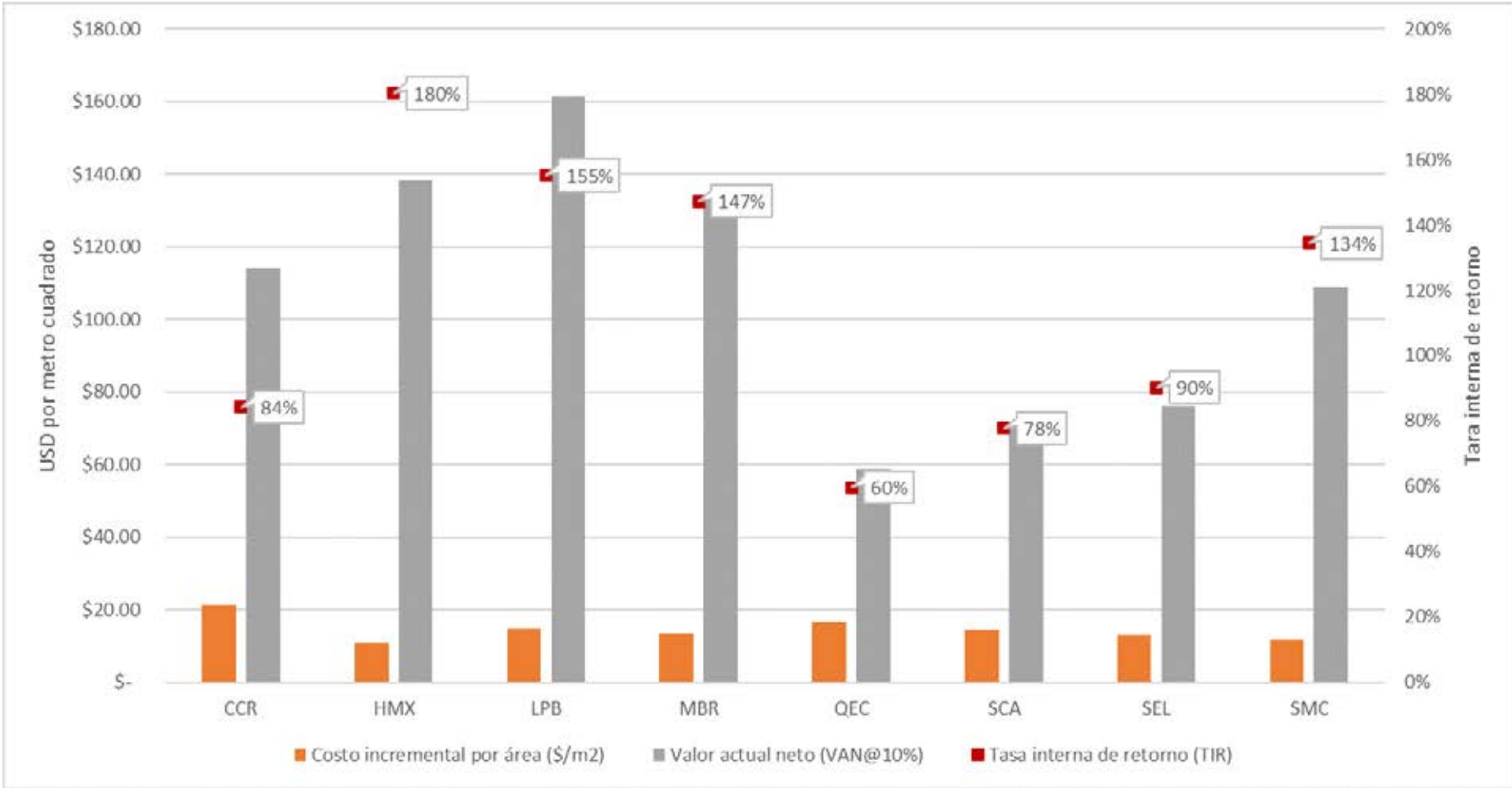


Figura 27. Indicadores financieros de diferentes ciudades con tarifas investigadas.





RESUMEN COMPARATIVO DE TARIFAS

Tabla 12. Resumen comparativo de tarifas.

	EDGE		Mercado	
	Tarifa de energía (\$/kWh)	Tarifa de agua (\$/m³)	Tarifa de energía (\$/kWh)	Tarifa de agua (\$/m³)
Cártago - Costa Rica	0.16	2.73	0.18	2.97
Hermosillo - México	0.08	0.50	0.17	2.96
La Paz - Bolivia	0.07	0.25	0.12	1.76
Manaos - Brasil	0.09	0.97	0.17	3.90
Quito - Ecuador	0.08	0.21	0.08	0.98
Puerto Santa Cruz - Argentina	0.06	0.10	0.09	0.45
San Salvador - El Salvador	0.08	0.21	0.11	1.82
Santa Marta - Colombia	0.08	0.04	0.15	1.54



10. Hospital existente

El caso corresponde a un ejemplo hipotético, de un Hospital Público existente de 40 032 m², construido en el año 2000, ubicado en la Ciudad de Buenos Aires-Argentina, en donde no se prevé realizar modificaciones de arquitectura, pero se incorporarán medidas con el objetivo de obtener al menos un 20% de ahorro en el consumo de energía y agua con relación a la línea base. En el Anexo 5 se encuentra el detalle del proyecto y de las condiciones climáticas.

Cuando se trata de edificaciones existentes de antigüedad igual o mayor a 5 años, la metodología de EDGE establece que en la categoría de materiales se debe ingresar el tipo “reutilización de material existente”. Esto, que para la obtención de la certificación de EDGE es relevante, porque garantiza el cumplimiento de la reducción de 20% en el componente de materiales, para efectos de este análisis no lo es. Por lo tanto, además de ingresar las características de diseño del edificio existente, solo se suministra información de las medidas relacionados con las categorías de energía y agua que buscan obtener resultados costo-eficientes.

Sin embargo, que no se realice el análisis de los ahorros en la energía incorporada en los materiales, no significa que no se incluyan cambios en algunos materiales dirigidos a mejorar la eficiencia energética. Por ejemplo, el incremento del aislamiento de paredes o ventanas o la incorporación de protecciones solares en las fachadas, son materiales que se incorporan al proyecto, que aumentan el costo incremental y que también redundan en sistemas más eficientes energéticamente.

Para el hospital existente se realizaron un total de 9 simulaciones. Las simulaciones a, b, c y d se centran en estrategias de ahorro pasivas. Las simulaciones e, f, g y h se centran en estrategias de ahorro activas. La simulación i contempla solamente el ingreso de información de las medidas mínimas (señaladas con * dentro de la plataforma en línea) y analiza el comportamiento final de costo-eficiencia.

En el Anexo 6, se resumen las diferentes simulaciones y ahorros de este caso.



10.1 Simulación a

En esta simulación, con base en una estrategia pasiva de diseño, se obtiene como resultado un 29% de ahorro de energía y un 24.77% de agua.

Medidas consideradas:

Energía: Se consideraron solamente las medidas mínimas recomendadas por defecto por EDGE, más el empleo de iluminación eficiente en todos los ambientes y medidas pasivas como el control solar externo y la ventilación

natural en pasillos, vestíbulo y habitaciones de pacientes.

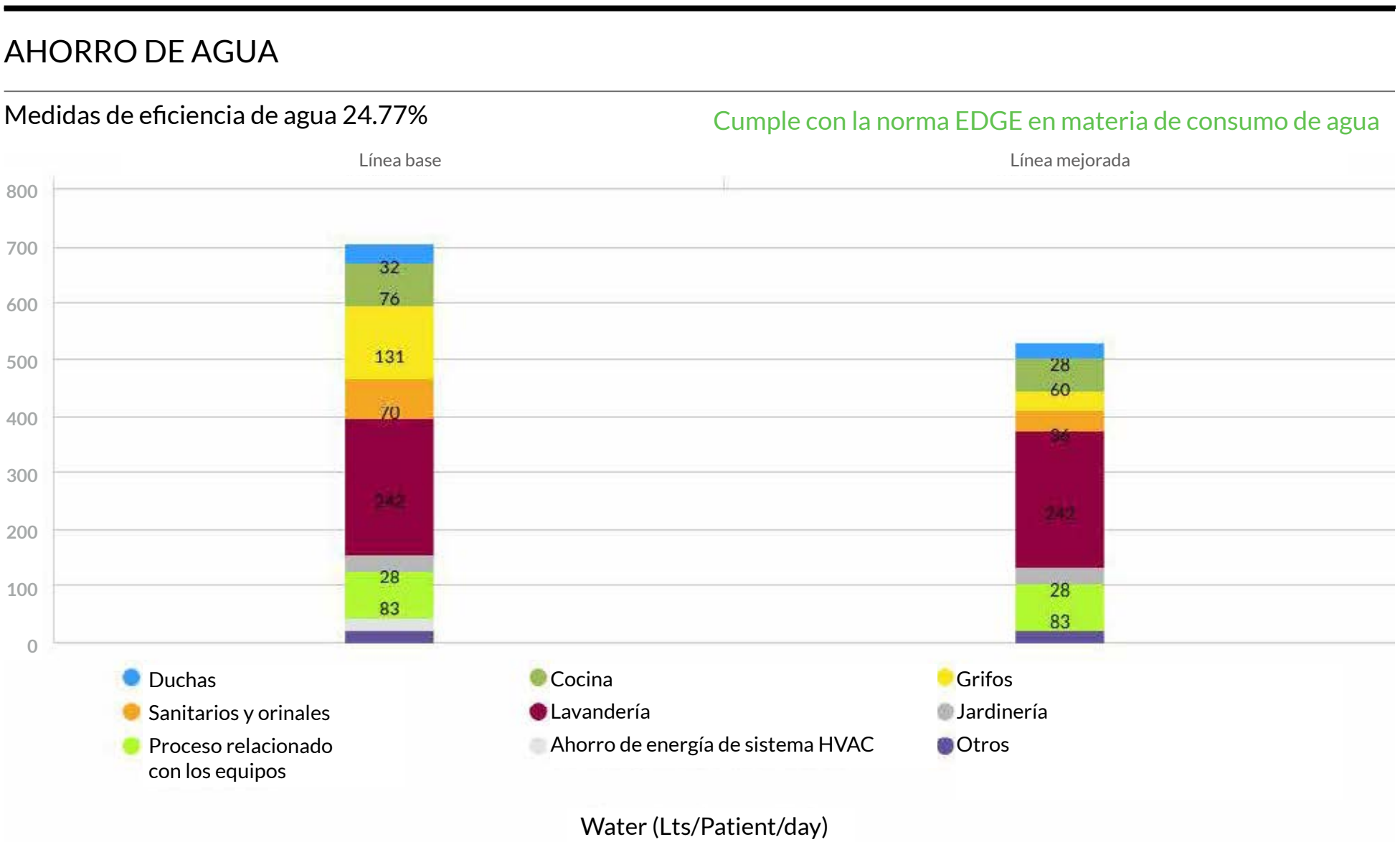
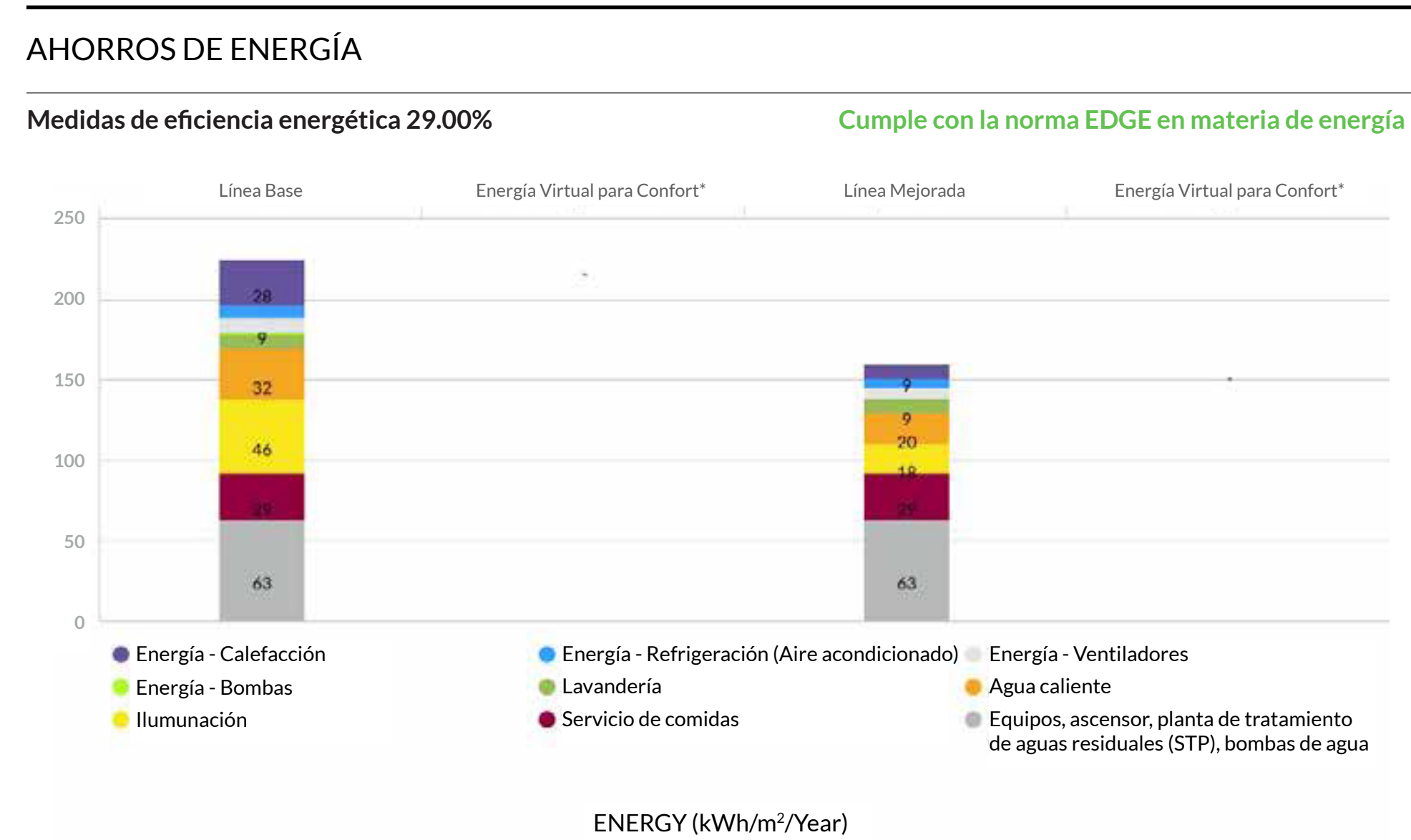
Agua: Se consideraron las medidas mínimas recomendadas por defecto sin adiciones ni modificaciones de caudales, tomándose los flujos y descargas de la línea de ahorro propuesta por EDGE:

- Duchas 7 litros/min.
- Lavatorio de baños 2 litros/min.
- Servicios sanitarios con doble descarga: 6 litros en la primera descarga y 3 litros en la segunda descarga.

- Orinales de 2 litros por descarga.
- Fregaderos de cocina 6 litros/min.

En esta simulación no se incluye el sistema de recuperación del agua de enjuague de lavado de ropa ya que presenta un alto costo incremental comparado con el bajo aumento en la eficiencia.

Figura 28.Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación a.



10.2 Simulación b

Esta simulación cuenta también con medidas pasivas de diseño, y muestra un ahorro de 29.36% de energía y un 26.36% de agua.

Medidas consideradas:

Energía: Además de las medidas mínimas recomendadas por defecto por EDGE y del empleo de iluminación eficiente en todos los ambientes, se consideraron las siguientes medidas adicionales.

- Pinturas reflectivas en techos y paredes.
- Vidrio de alto rendimiento térmico.
- Sistema de aire acondicionado VRF con COP de 3.5, como sistema de enfriamiento que le proporciona al proyecto más eficiencia a bajo costo incremental.

Agua: Se consideraron las medidas mínimas y recomendadas por EDGE y adicionalmente se ajustaron los flujos de caudales y descarga para:

- Duchas 6 litros/min.
- Orinales secos (0 litros por descarga).

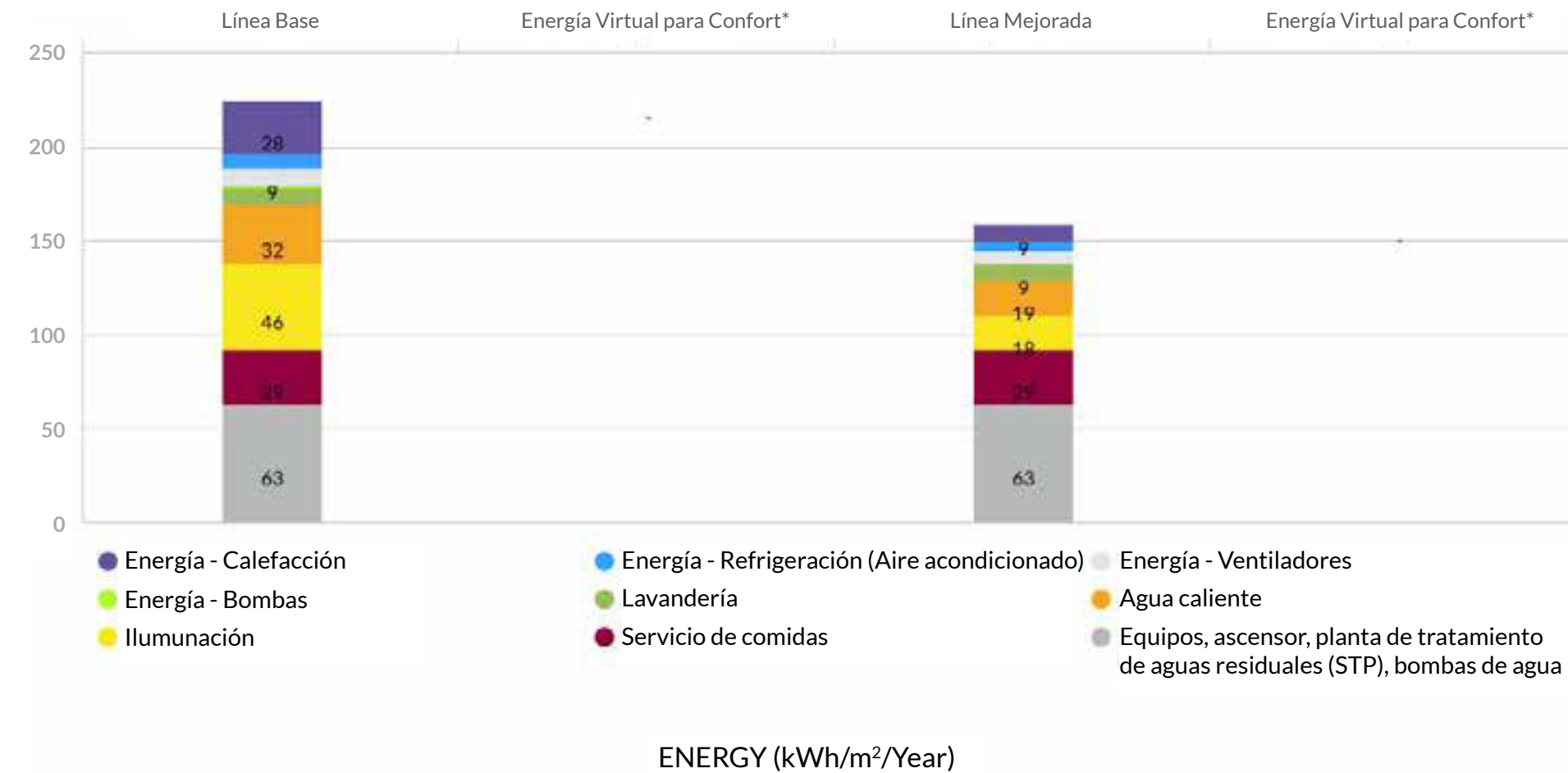
Al igual que en la simulación a, no se incluye el sistema de recuperación del agua de enjuague para el lavado de ropa debido a su alto costo incremental para el proyecto.

Figura 29. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación b.

AHORROS DE ENERGÍA

Medidas de eficiencia energética 29.36%

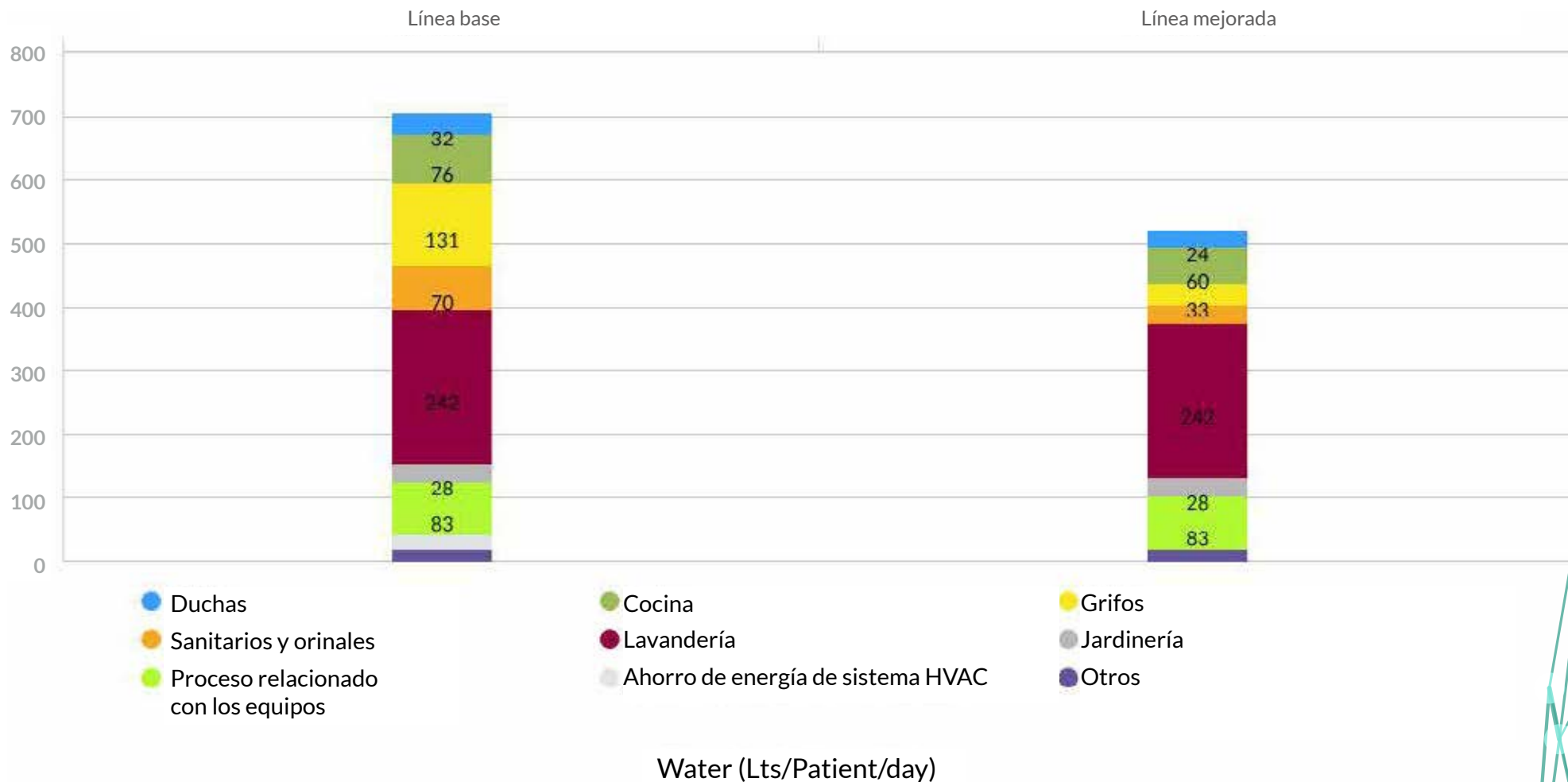
Cumple con la norma EDGE en materia de energía



AHORRO DE AGUA

Medidas de eficiencia de agua 26.36%

Cumple con la norma EDGE en materia de consumo de agua



10.3 Simulación c

Esta simulación cuenta también con medidas pasivas de diseño, y demuestra un ahorro de 29.17% en energía y un 32.78% en agua.

Medidas consideradas:

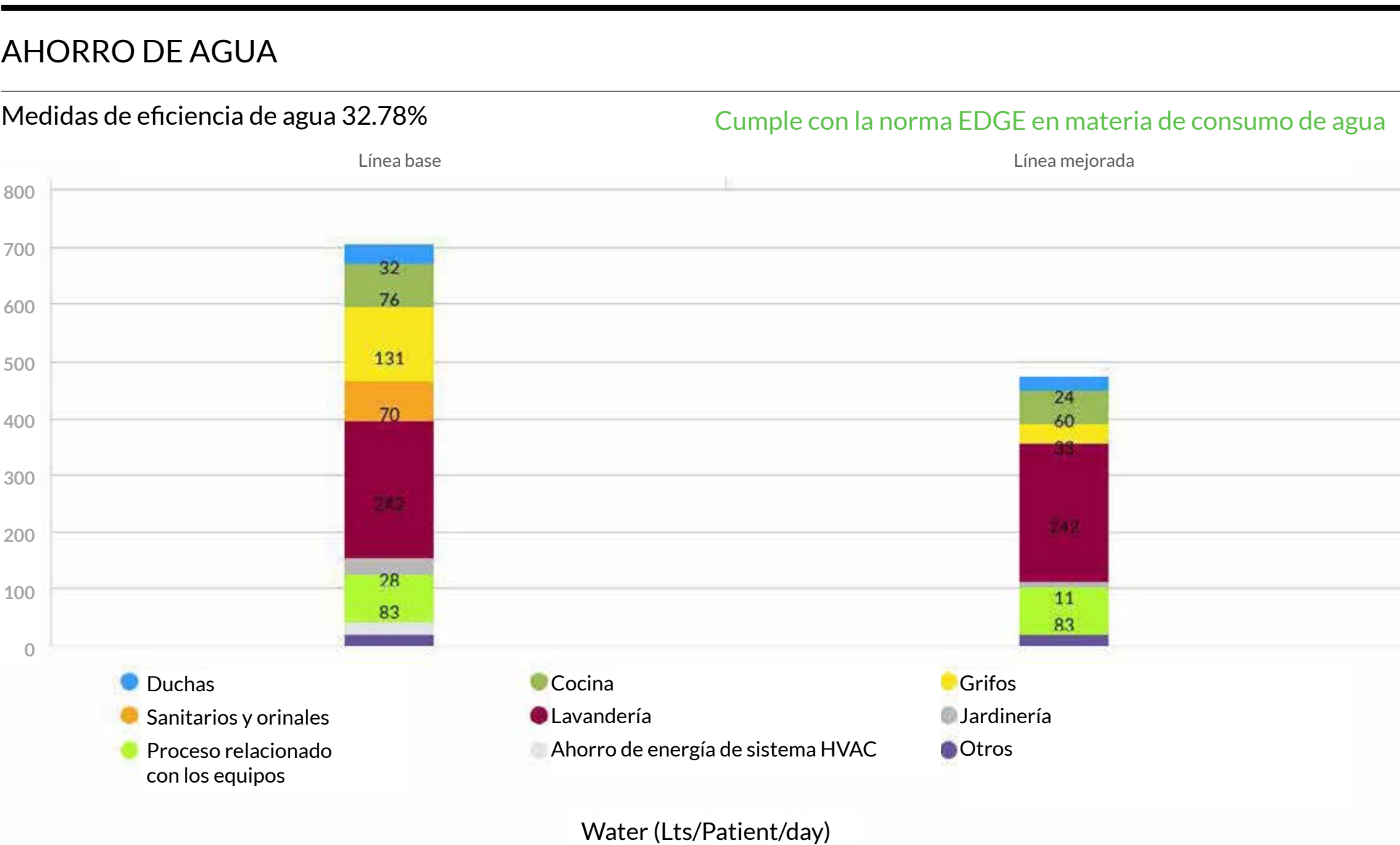
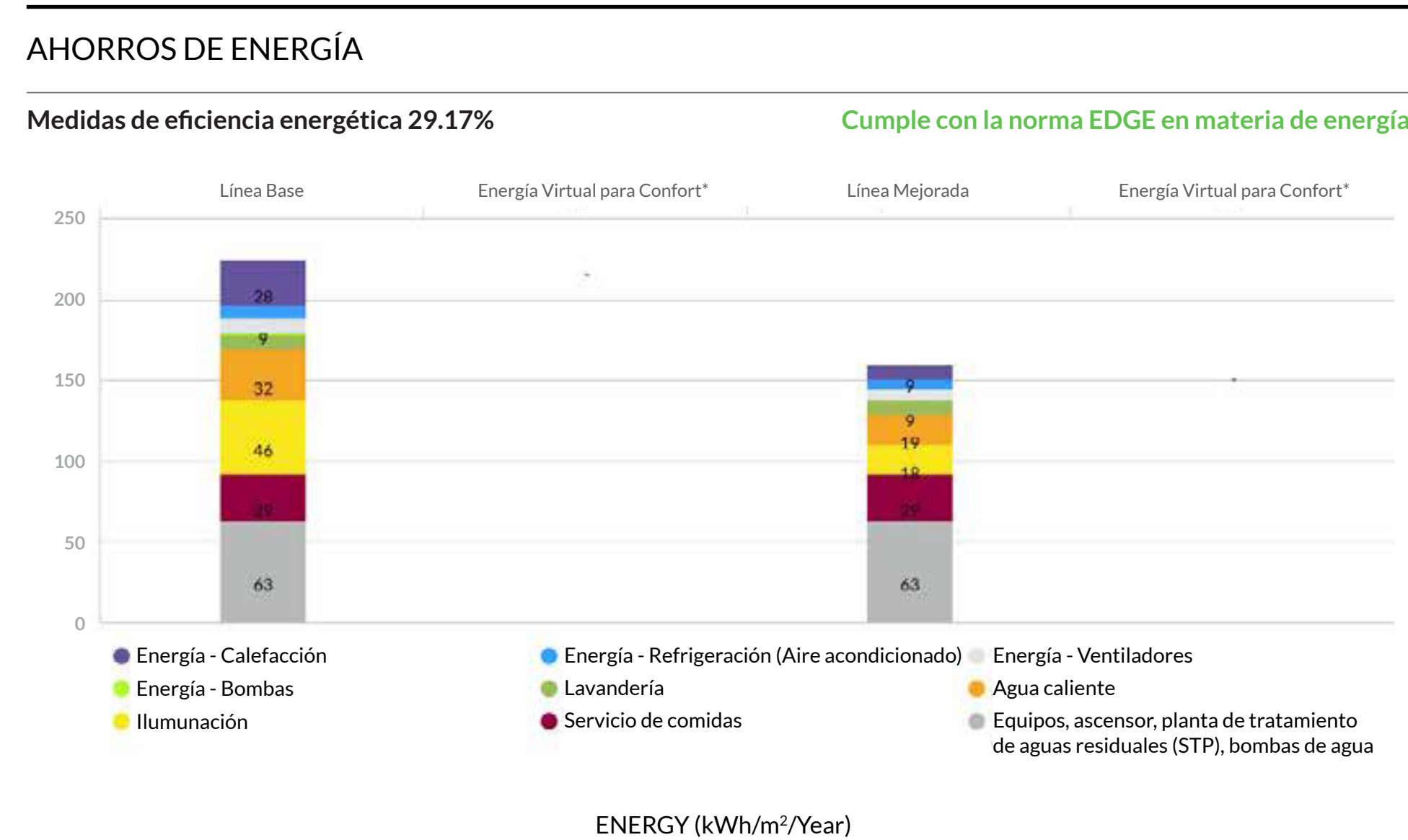
Energía: Adicionalmente a las medidas incorporadas en la simulación a y b, se incluyen velocidad variable en las manejadoras de aire y en las bombas, con base en los valores estándares de EDGE.

Agua: Se consideraron las siguientes medidas:

- Duchas 6 litros/min.
- Lavatorio de baños 2 litros/min.
- Servicios sanitarios con doble descarga: 6 litros en la primera descarga y 3 litros en la segunda descarga.
- Orinales secos (0 litros por descarga).
- Grifos de cocina de 6 litros/min.

Adicionalmente se incluye la recuperación de aguas grises, pero no el sistema de recuperación del agua de enjuague para el lavado de ropa.

Figura 30. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación c.



10.4 Simulación d

Esta simulación, si bien se centra en estrategias pasivas, incorpora la medida activa de diseño, correspondiente al calentamiento del agua por medio de colectores. De lo contrario, solo con las medidas pasivas seleccionadas, no se alcanzaría el estándar del 20% de ahorro de energía. Con esta simulación se obtuvo un 23.35% de ahorro en energía y un 31.75% de ahorro en agua.

Medidas consideradas:

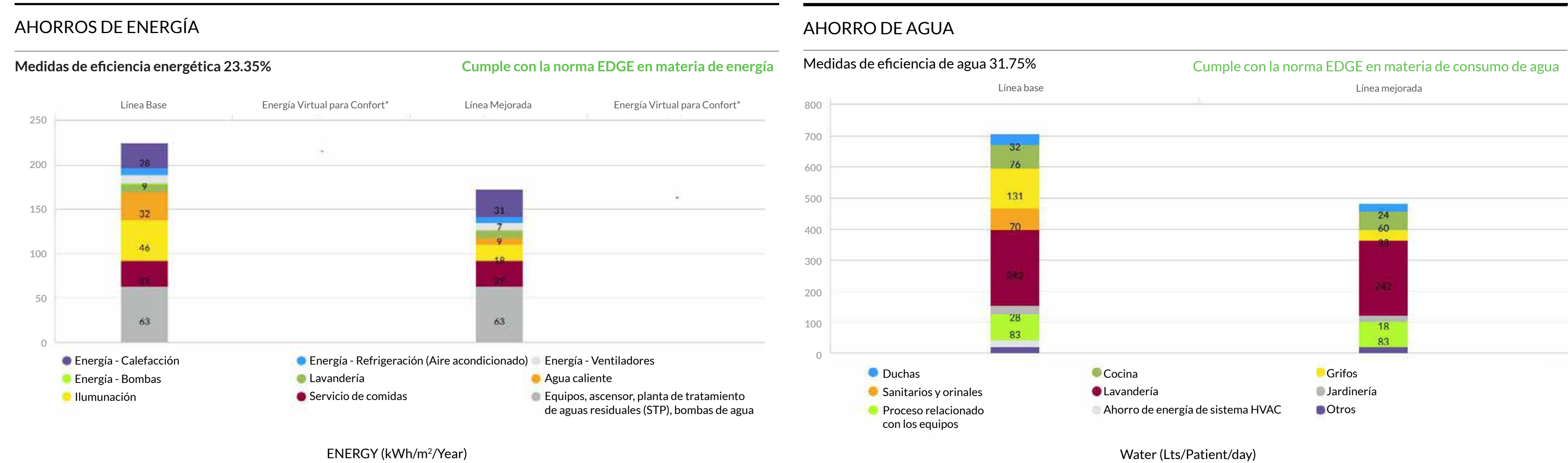
Energía: Además de las medidas mínimas se incluyen medidas como el control solar externo y vidrios de baja emisividad. Adicionalmente, se incluyó un chiller enfriado por aire con un COP de 3.3. Se incorporó una estrategia activa: los colectores de agua caliente solar a un 60% de la demanda para lograr sobrepasar el 20% de ahorro de la categoría.

Agua: Se implementaron las medidas mínimas, pero con ajuste de caudal:

- Duchas 6 litros/min.
- Servicios sanitarios con doble descarga: 6 litros en la primera descarga y 3 litros en la segunda descarga.
- Lavamanos de 2 litros/min.
- Orinales de 2 litros por descarga.
- Grifos de cocina de 6 litros/min.

Se incluyó una estrategia: la recuperación de aguas grises.

Figura 31. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación d.



10.5 Simulación e

En esta simulación no se incluyeron medidas pasivas y se incorporaron equipos electromecánicos de uso más comunes en hospitales, así como el diseño de su envolvente. Se obtuvo un 31.73% de ahorro en energía y un 31.87% de ahorro en agua.

Medidas consideradas:

Energía: Se incluye un sistema de aire acondicionado con enfriador por agua, con un COP de 5.2, ya que es un sistema

de enfriamiento común en proyectos hospitalarios.

Un 60% de la demanda de agua caliente fue suplida por colectores solares, y un 10% de la demanda para otros usos finales fue cubierta por energía solar fotovoltaica.

Agua: Se incluyeron las medidas mínimas y se ajustaron algunos caudales:

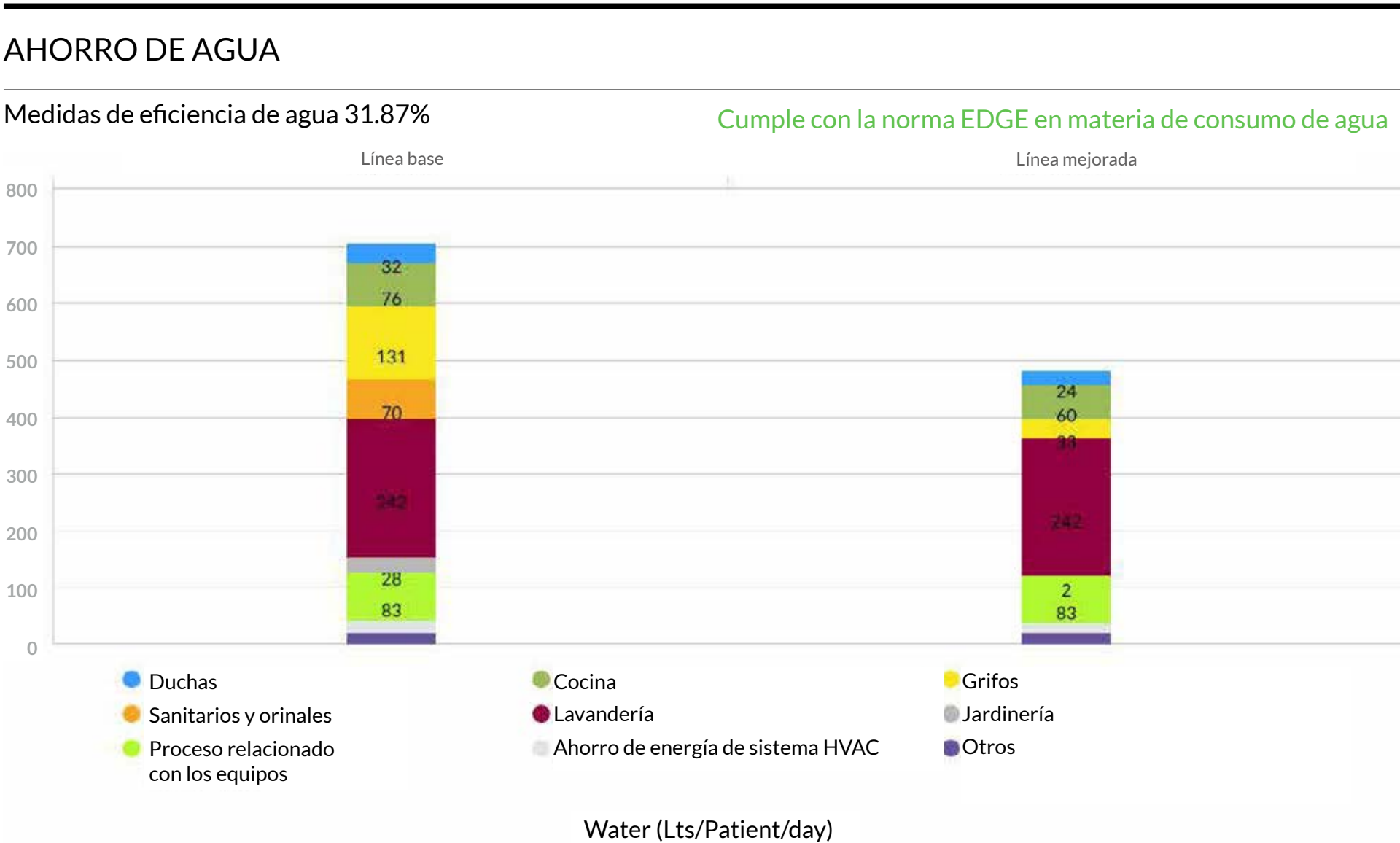
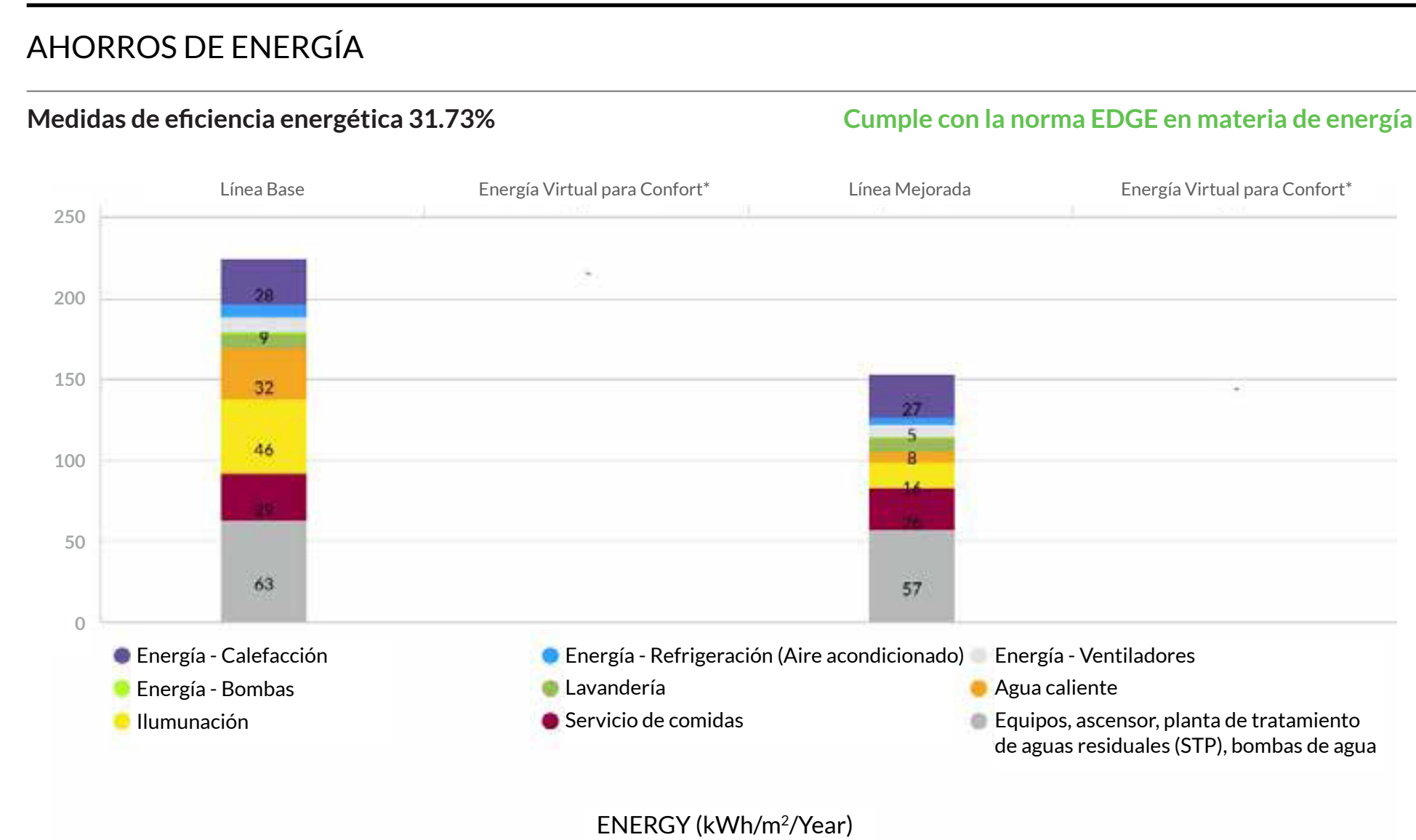
- Duchas 6 litros/min.
- Servicios sanitarios con doble descarga: 6 litros en la primera descarga y 3 litros en la segunda descarga.

- Orinales secos (0 litros por descarga).
- Lavamanos de 2 litros/min.
- Grifos de cocina de 6 litros/min.

También se incluyó la recuperación de aguas grises, pero no la recuperación de agua de lavado de ropa.

Para las áreas verdes se incluyó la medida de uso eficiente de agua para riego.

Figura 32. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación e.



10.6 Simulación f

Esta simulación también incorpora medidas activas de diseño, obteniéndose un 31% de ahorro en energía y un 32.25% en agua.

Medidas consideradas:

Energía: Se consideró un sistema de aire acondicionado con enfriador por aire, con un COP de 3.3, colectores de agua caliente solar a un 60% de la demanda. Asimismo, también se incorpora la energía

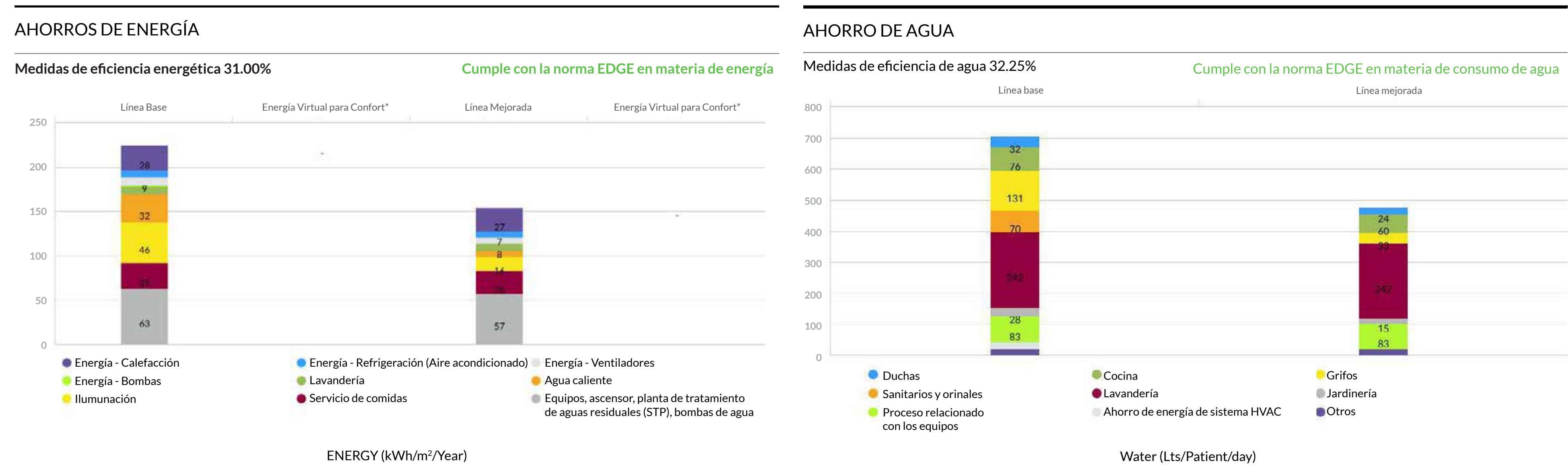
solar fotovoltaica para un 10% de la demanda total de energía del proyecto.

Agua: Se emplean los siguientes caudales:

- Duchas 6 litros/min.
- Servicios sanitarios con única descarga: 6 litros en la primera descarga.
- Orinales secos (0 litros por descarga).
- Lavamanos de 2 litros/min.
- Grifos de cocina de 6 litros/min.

Al igual que en la simulación anterior, se incluyó la recuperación de aguas grises, pero no la de recuperación de agua de lavado de ropa, y para las áreas verdes, se incluyó la medida de uso eficiente de agua para riego.

Figura 33. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación f.



10.7 Simulación g

En esta simulación se logró obtener un 42.74% de ahorro de energía y un 34.09% de ahorro de agua¹¹.

Medidas consideradas:

Energía: Se incluyeron pinturas reflectivas en techo y paredes y vidrio de alto rendimiento térmico. Asimismo, se incluyó un sistema de acondicionamiento VRF con un COP de 3.5.

Se incluyeron unidades de velocidad variable en los equipos de bombeo y la recuperación de calor sensible del aire a la salida con una eficiencia de un 60%.

Se incluyeron también los colectores de agua caliente solar a un 60% de la demanda, y la energía solar fotovoltaica para un 10% de la demanda total de energía del proyecto.

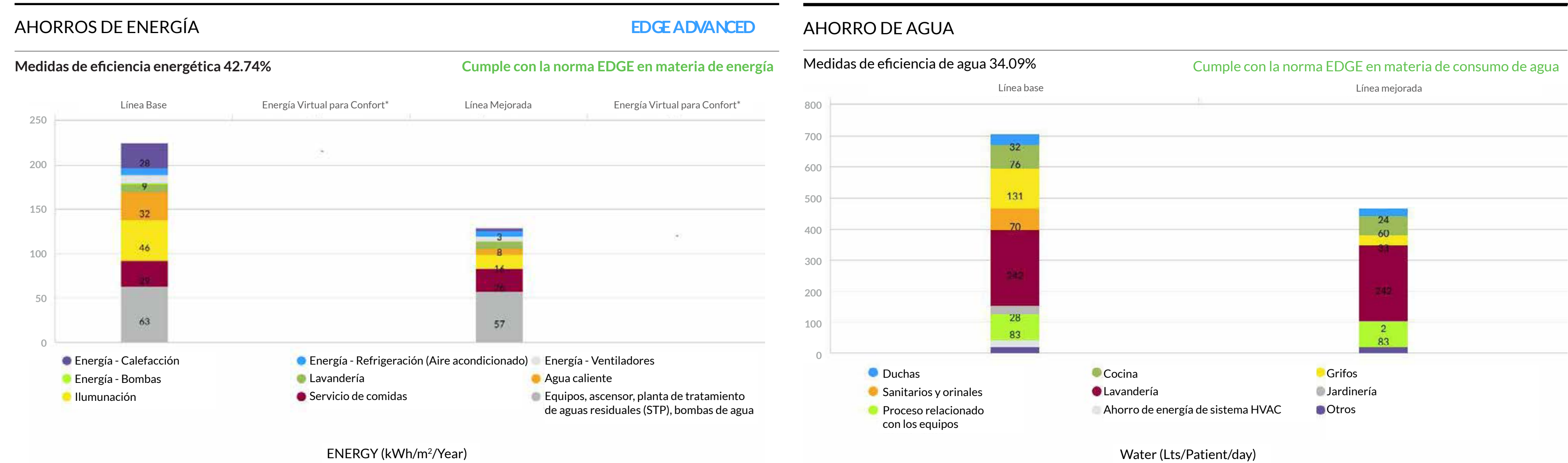
Agua: Se emplearon los siguientes caudales:

- Duchas 6litros/min.
- Orinales secos (0 litros por descarga).
- Lavamanos de 2 litros/min.
- Grifos de cocina de 6 litros /min.

Al igual que en la simulación anterior, se incluyó la recuperación de aguas grises, pero no la de recuperación de agua de lavado de ropa, y para las áreas verdes, se incluyó la medida de uso eficiente de agua para riego.

11 Con los ahorros alcanzados se alcanzaría una certificación EDGE Advanced.

Figura 34. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación g.



10.8 Simulación h

Para esta simulación, centrada también en medidas activas, se lograron los ahorros de 40.29% en energía y 32.25% en agua¹².

Medidas consideradas:

Energía: Se incluyó vidrio de alto rendimiento térmico y un sistema de acondicionamiento VRF con un COP de 3.5.

12 Con los ahorros alcanzados se alcanzaría una certificación EDGE Advanced.

Adicionalmente también se incorporaron los colectores de agua caliente solar a un 60% de la demanda, y energía solar fotovoltaica para un 10% de la demanda total de energía del proyecto.

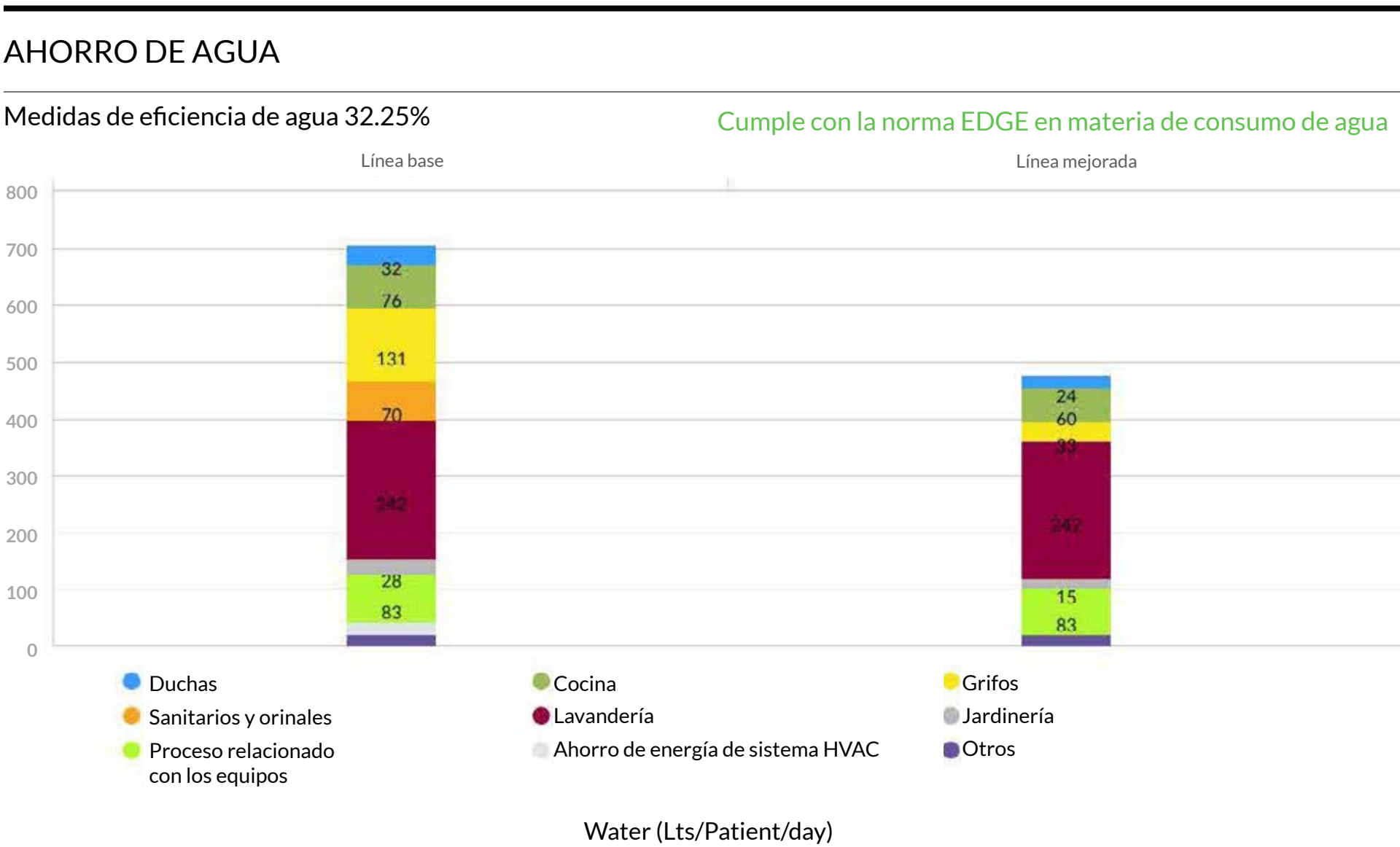
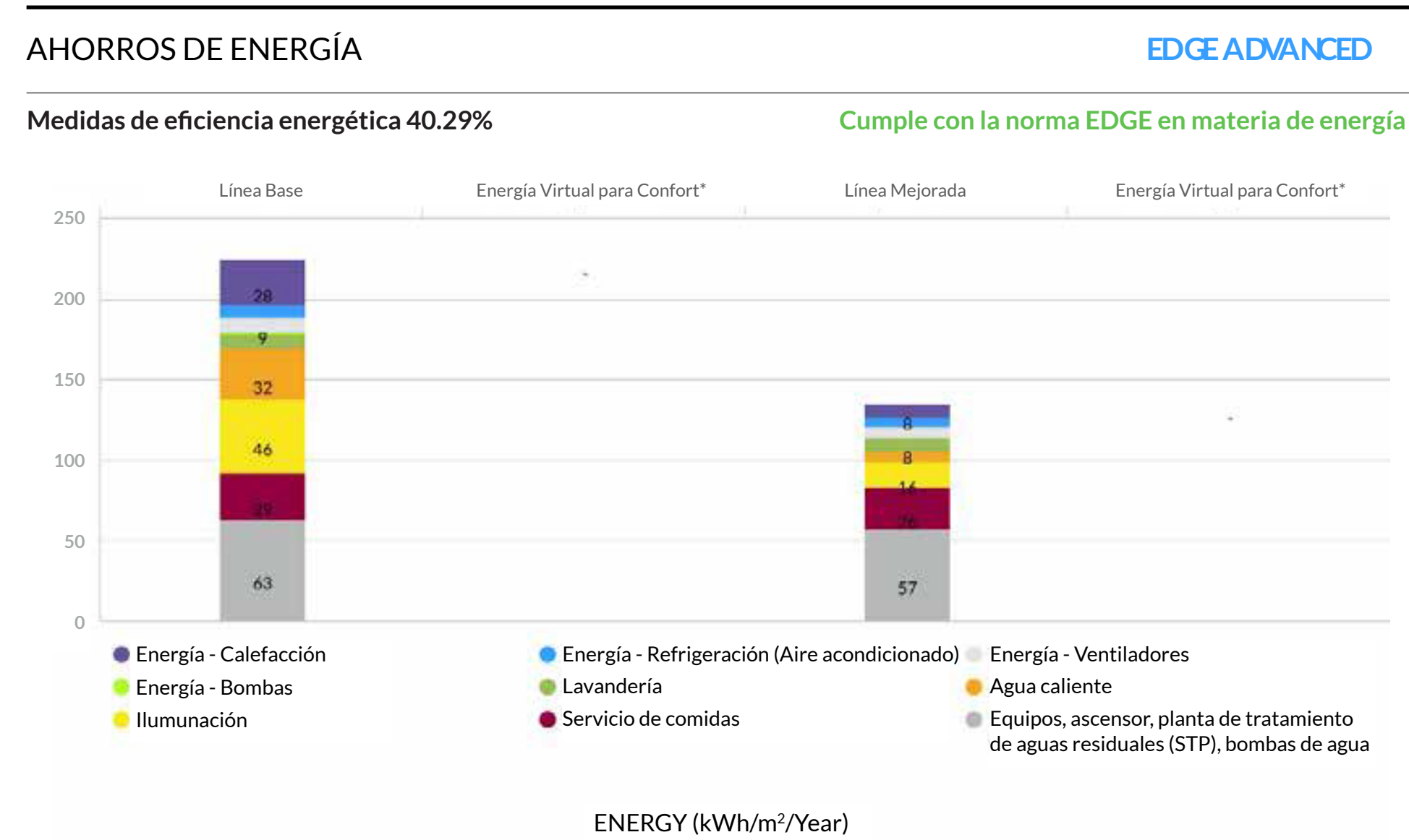
Agua: Se emplearon las siguientes descargas:

- Duchas 6 litros/min.
- Orinales secos (0 litros por descarga).
- Lavamanos de 2 litros/min.
- Grifos de cocina de 6 litros/min.

- Servicios sanitarios una única descarga de 6 litros.

Adicionalmente se incluyó la recuperación de aguas grises y el uso eficiente del agua para las áreas verdes. Nuevamente no consideró la recuperación del agua de enjuague para el lavado de ropa.

Figura 35. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación h.



10.9 Simulación i

Esta simulación fue realizada como caso excepcional, con la intención de alcanzar el estándar EDGE con el máximo ahorro y el menor costo incremental posible. Para este caso se seleccionaron inicialmente solo las medidas mínimas identificadas por EDGE, sin editar los coeficientes propuestos por la herramienta. Cuando no era posible alcanzar el estándar, se fueron incorporando paulatinamente otras medidas buscando el estándar, pero al menor costo incremental posible.

Como resultado de esa simulación, se alcanzó un 23% de ahorro de energía y un 24.77% de ahorro en agua.

Medidas consideradas:

Energía: Inicialmente fueron seleccionadas las siguientes medidas, aunque no fue posible alcanzar el estándar:

- Reducción de la Proporción de vidrio en la fachada exterior - WWR de 20%.
- Aislamiento del techo - Valor-U de 0.442.
- Aislamiento térmico paredes externas - Valor-U: 0.446.

Con estas tres medidas se alcanzó un ahorro de 6.27% con un costo incremental de USD 305 573.95

Como segunda instancia, se incorporó el sistema de enfriamiento VRF con un COP de 3.5. Con esta medida, se alcanzó casi un 15% de ahorro con un costo incremental cercano a los USD80,000.

Por último, se implementaron las siguientes medidas:

- Bombillas ahorradoras de energía para espacios externos.
- Controles de iluminación para pasillos.
- Sensores de ocupación para baños.
- Colectores de agua caliente solar a un 60% de la demanda.

La inclusión de estas medidas adicionales se sobrepasó el estándar mínimo del 20%.

Agua: De la misma manera, se seleccionaron inicialmente las medidas mínimas y se logra sobrepasar el ahorro mínimo, todo esto sin modificar los flujos y descargas propuestos por EDGE:

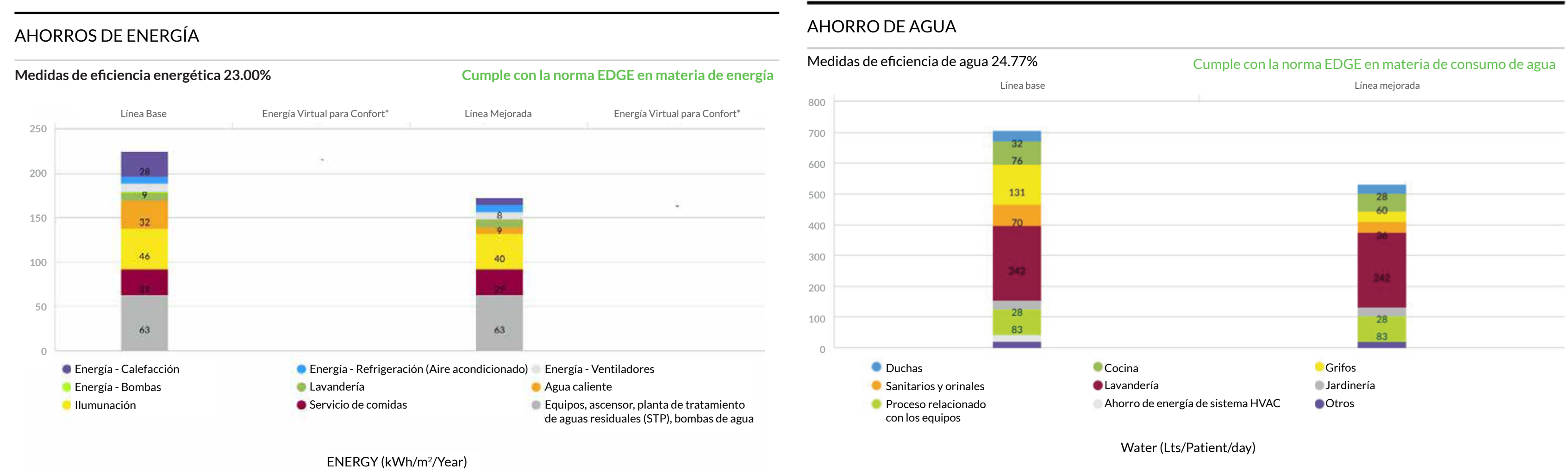
- Duchas de bajo flujo - 7 litros/min.
- Lavatorios de bajo flujo para baños - 2 litros/min.
- Doble descarga para inodoros, 3 litros y 6 litros por descarga.

- Orinales con uso eficiente de agua en todos baños - 2 litros/descarga
- Grifos para cocina con uso eficiente de agua - 6 litros/min.

Con el empleo de estas medidas mínimas fue posible alcanzar el estándar requerido.

En el Anexo 6, se muestra el resumen medidas elegidas para el total de las 9 simulaciones de este caso.

Figura 36. Resumen de resultados caso BAA-HP-Simulación i.



> Tips:

Si bien el vidrio de baja emisividad y el vidrio de alto rendimiento tienen un comportamiento similar con relación al ahorro energético, el primero tiene un costo incremental inferior con relación al segundo, por lo tanto, resulta más efectivo, a nivel de costos, colocar un vidrio de baja emisividad en el proyecto*.

El empleo de calentadores solares aporta un importante ahorro de energía a un costo incremental de un poco más de USD 60,000. El tiempo de retorno de la inversión se reduce en 18 meses el tiempo con la implementación de esta medida.

El empleo de la recuperación de calor, con una eficiencia de un 60%, aumenta significativamente el costo incremental del proyecto, y solo incrementa aproximadamente un 2% el ahorro.

Se puede realizar una combinación de medidas para optimizar el costo incremental, como por ejemplo colocando bombillas ahorradoras de energía para espacios externos y colectores solares de agua caliente. Sin embargo, si el objetivo del proyecto es la disminución mensual del costo de los servicios públicos, se deberán poner bombillas ahorradoras de energía para espacios internos, medida que aumenta el costo incremental de los proyectos, pero reduce el costo mensual.

El empleo de un sistema de aire acondicionado con enfriador por agua no aporta un incremento significativo en la eficiencia de la categoría (aprox. 0.2%), pero si un costo incremental de casi USD 100,000.

El impacto de utilizar unidades de velocidad variable en las bombas no es significativo en cuanto al ahorro energético, ni en el costo incremental.

En edificios existentes de esta tipología, es necesario implementar medidas de iluminación eficiente y especificar el sistema de enfriamiento a utilizar para alcanzar el estándar de ahorro de energía.

Desde el punto de vista de la inversión, es más costo-efectivo la reutilización de aguas grises que la recuperación de agua de lavandería.

El empleo de energía solar fotovoltaica sí representa un costo incremental significativo, aunque también representa un gran aumento en la eficiencia.

Las medidas mínimas de agua recomendadas por EDGE son suficientes para alcanzar el estándar, sin necesidad de modificar los flujos, descargas o caudales propuestos por EDGE.

* Se debe tener en cuenta que Buenos Aires está en un clima con 4 estaciones bien diferenciadas. En caso de que el proyecto se encuentre en climas preponderantemente fríos o cálidos, los resultados podrían ser diferentes.

11. Resultados de las simulaciones del hospital existente: ahorros

Una vez obtenidas los resultados de las diferentes simulaciones para este caso, se realiza una comparación de estos a fin de observar tendencias y relaciones entre las diferentes estrategias.

11.1 Energía

Como se mencionó, todas las simulaciones alcanzan el estándar del 20% de ahorro de energía. Las Sa, Sb, Sc y Sd se centran en estrategias pasivas, y las Se, Sf, Sg y Sh se centran en estrategias activas, incluyendo la generación de energía renovable en sitio.

La Sd presenta el ahorro de energía más bajo, principalmente por usar *chiller* enfriado por aire que al comparar con un sistema de flujo variable de refrigerante (VRF) resulta considerablemente menos eficiente.

La Sg presenta el mayor ahorro de energía por considerar un vidrio con alto rendimiento térmico, sistema de HVAC tipo VRF, variador de frecuencia en unidades manejadoras de aire y bombas, recuperación de calor y energía renovable, tanto solar térmica con colectores como fotovoltaica.

11.2 Agua

Al igual que en el caso de energía, todas las simulaciones alcanzan el estándar de 20% de ahorro requerido por EDGE. En los casos en que se empleó el sistema de tratamiento y reciclaje de aguas grises, se lograron ahorros mayores al 30%.

Figura 37. Ahorro de energía simulaciones HP.

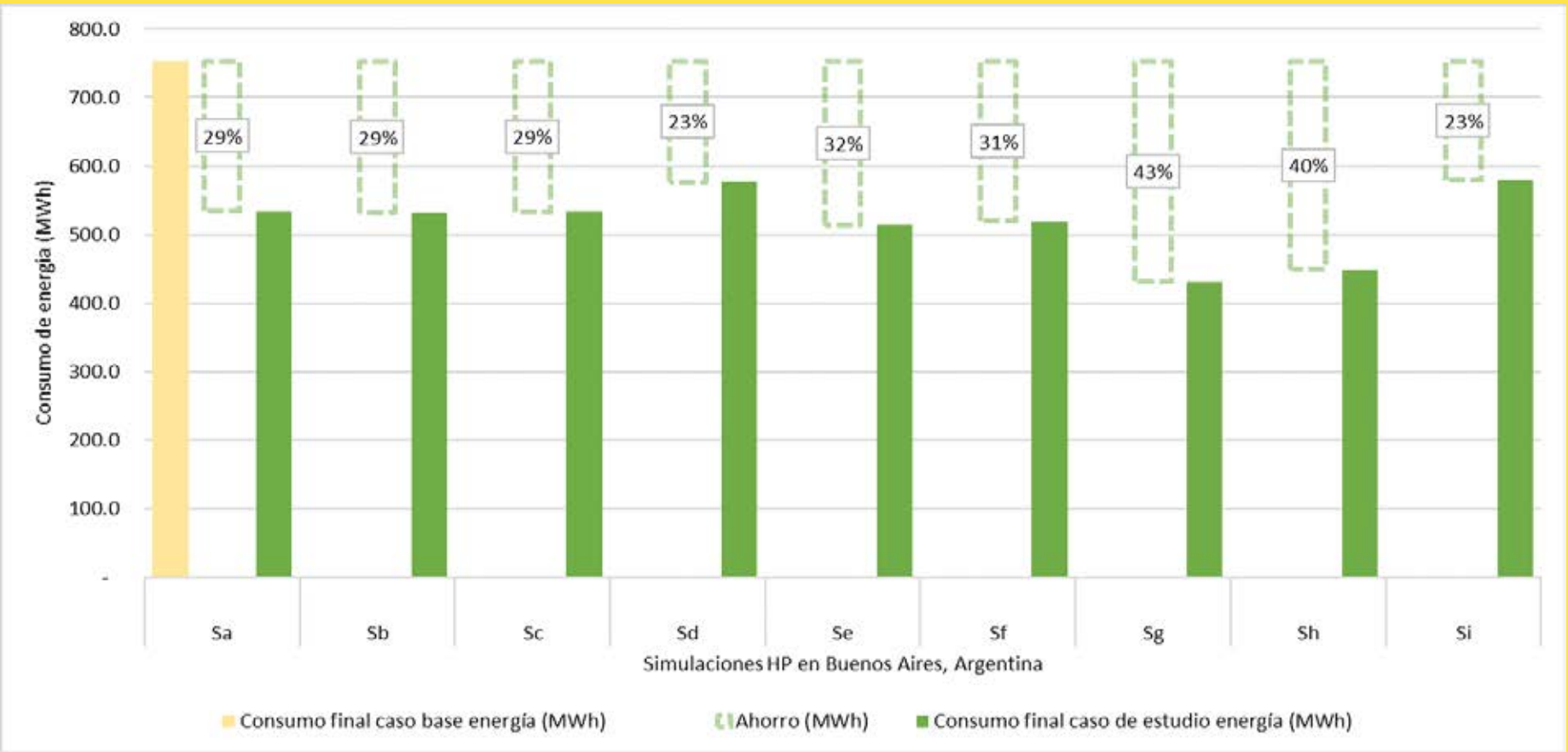
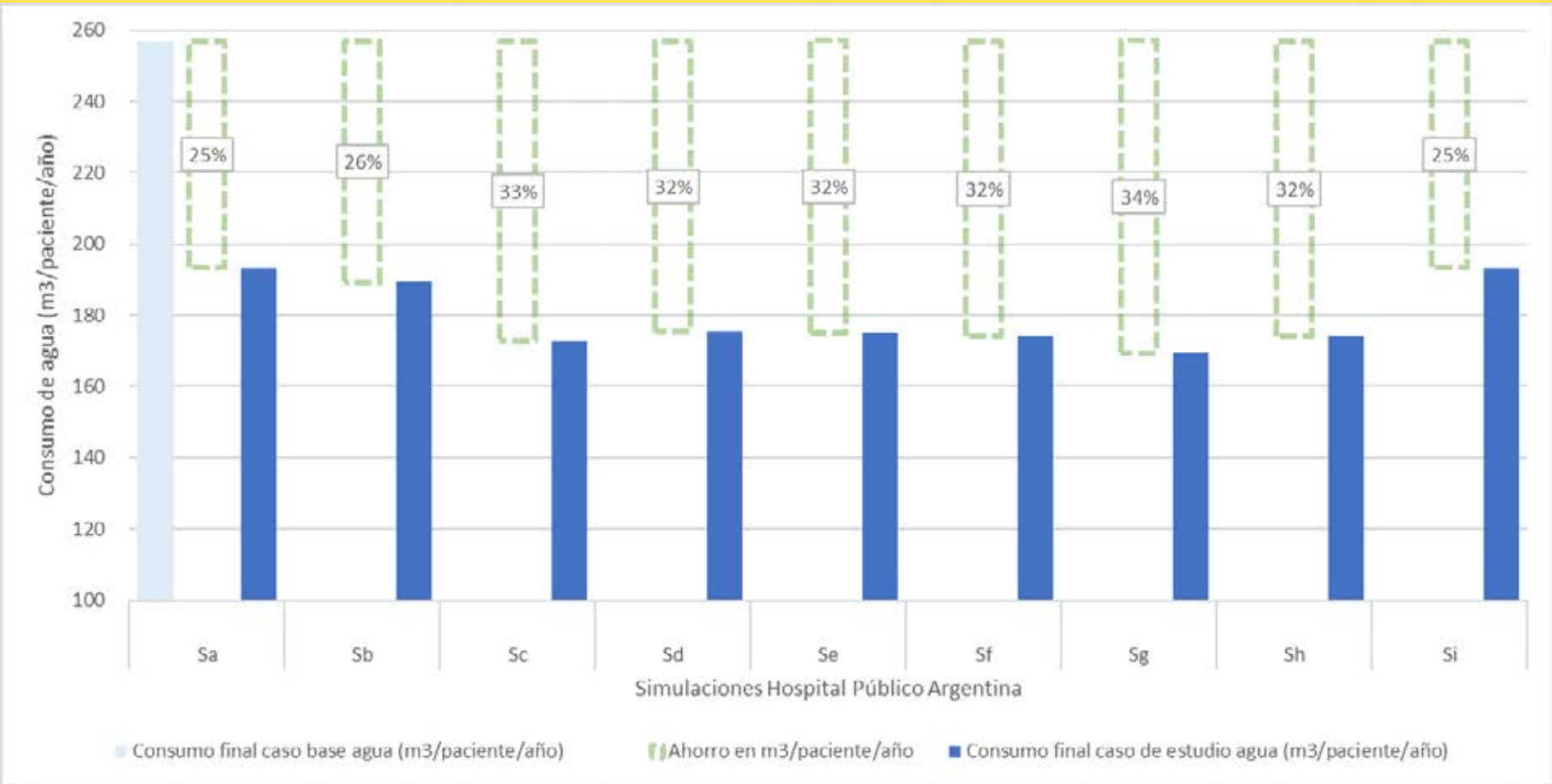


Figura 38. Ahorro de agua simulaciones HP.



12. Análisis financiero del hospital existente

12.1 Costo incremental y ahorros

El primer paso para realizar el análisis financiero es determinar **el costo incremental** de cada alternativa, junto con los potenciales **ahorros en servicios públicos**.

EDGE calcula el costo incremental de acuerdo con estimaciones de costo de cada medida según país. Asimismo, EDGE calcula el ahorro en servicios públicos, según los ahorros de energía y agua multiplicado por la tarifa respectiva.

Las Sa, Sb y Sc muestran que con una inversión incremental cercana a USD1.2 millones se podría alcanzar el estándar EDGE; y se obtendrían ahorros estimados en servicios públicos de aproximadamente USD150,000 por año. El monto invertido representa aproximadamente USD30/m², y se estaría alcanzando un ahorro de USD3.75/m² con un PRI de 8 años. Las Sg y Sh muestran un PRI similar a las anteriores, pero con un mayor costo incremental y mayor ahorro.

En las alternativas Se y Sf se obtiene un ahorro similar, pero como tiene un mayor

costo de inversión incremental, el PRI es mayor.

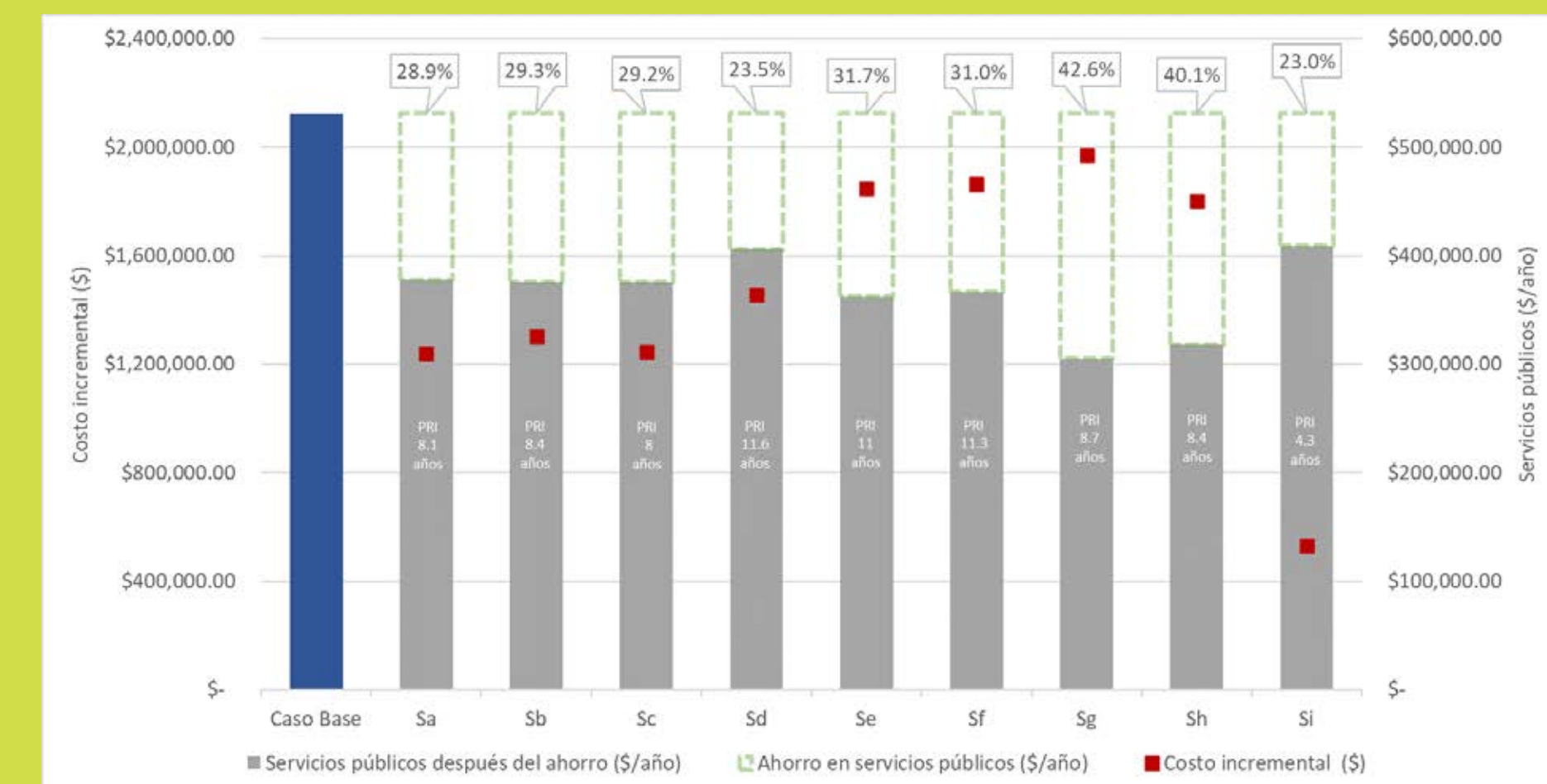
Por último, la Si muestra que con una inversión de USD530,000 (USD13.25/m²) se alcanza el ahorro del estándar EDGE, y además se logra el retorno de inversión más bajo de todas las alternativas, 4.3 años. En términos financieros, la Si resulta ser la más favorable.

12.2 Indicadores financieros

Para el análisis de la viabilidad financiera se calcula la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto de inversión, el valor actual neto (VAN) y el periodo de retorno de la inversión (PRI).

Para este caso se consideró una tasa interna de retorno (TIR) de 10% para

Figura 39. Costo incremental y ahorros anuales en HP.



determinar la viabilidad financiera del proyecto. Bajo esas condiciones, todas las simulaciones muestran un resultado atractivo económicamente.

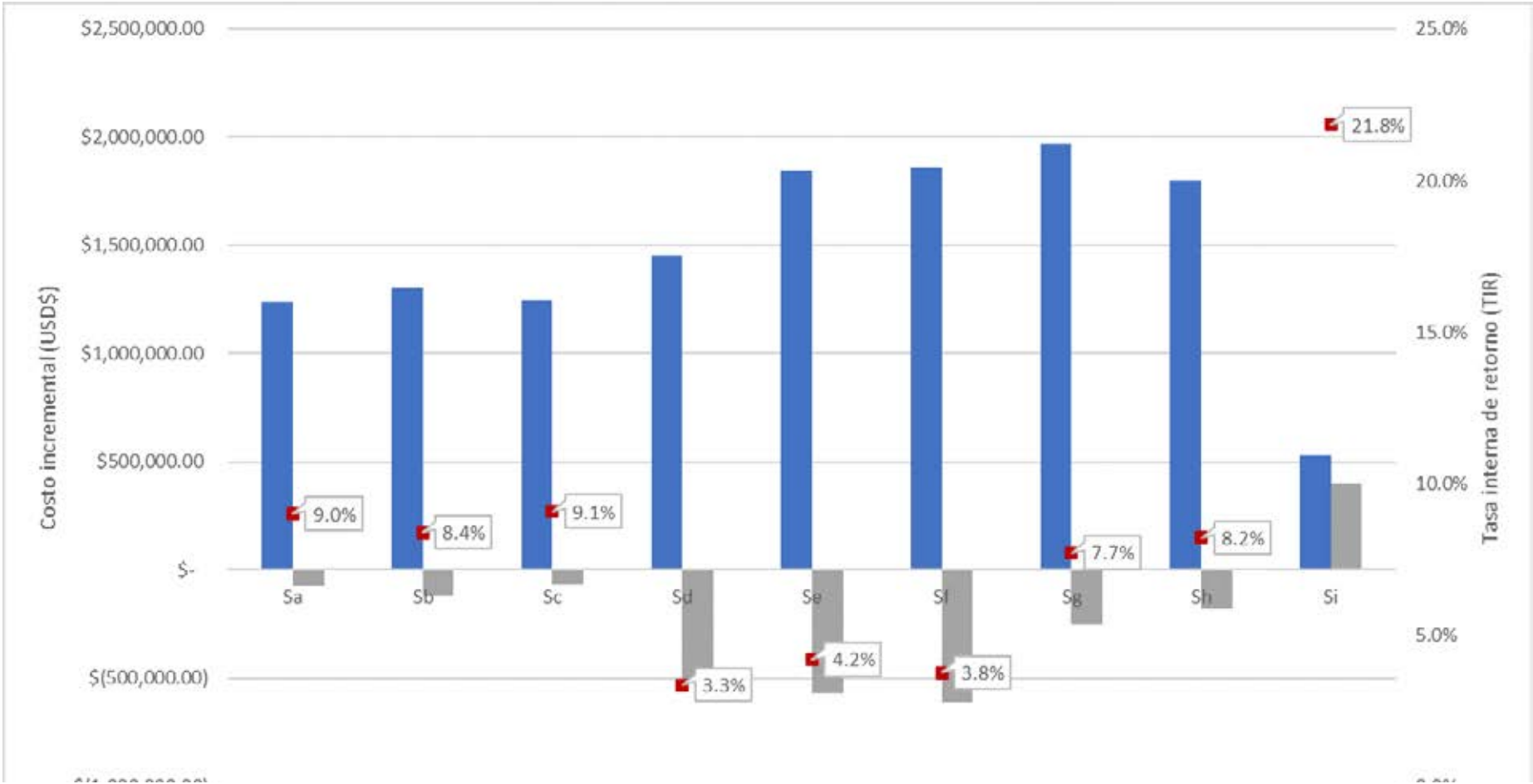
En la siguiente figura se termina de comprobar que la Si resulta ser la alternativa más favorable en términos financieros, ya que se alcanza una TIR de 21.8% con un VAN positivo calculado con la tasa de descuento de 10%.

Como se mencionó anteriormente, las alternativas Sa, Sb y Sc tienen resultados similares, y se validan con la figura

anterior donde se muestra que la TIR ronda el 9% y el VAN por debajo de cero. A pesar de que la TIR no supera el 10%, está muy cerca y puede ser considerado viables si se prioriza el ahorro de recursos antes que la rentabilidad financiera.

Las Sd, Se, Sf, Sg y Sh muestran TIRs muy bajas (por debajo del 10%) y VAN negativo. En otras palabras, se puede interpretar que los flujos futuros del proyecto en valor presente con una tasa de descuento de 10% no justifican la inversión.

Figura 40. Indicadores financieros de diferentes escenarios HP.



¿CUÁNTA ENERGÍA Y AGUA PODEMOS AHORRAR EN UN HOSPITAL EXISTENTE?

ENERGÍA

Se podría ahorrar en promedio 72 kWh por metro cuadrado de construcción.

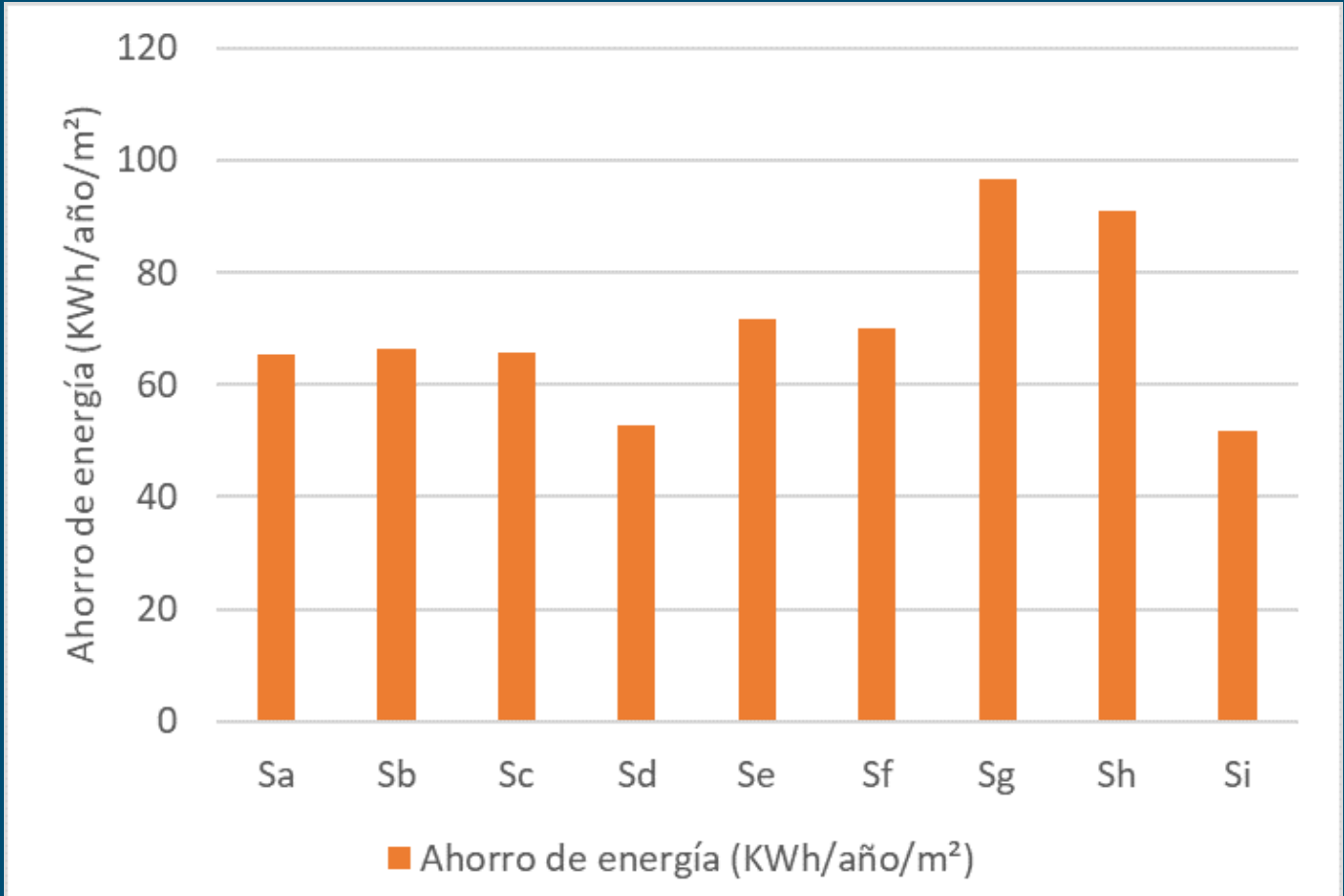


Figura 41. Ahorro anual de energía por m² HP.

AGUA

Se podría ahorrar en promedio 0.86 m³ de agua por metro cuadrado de construcción.

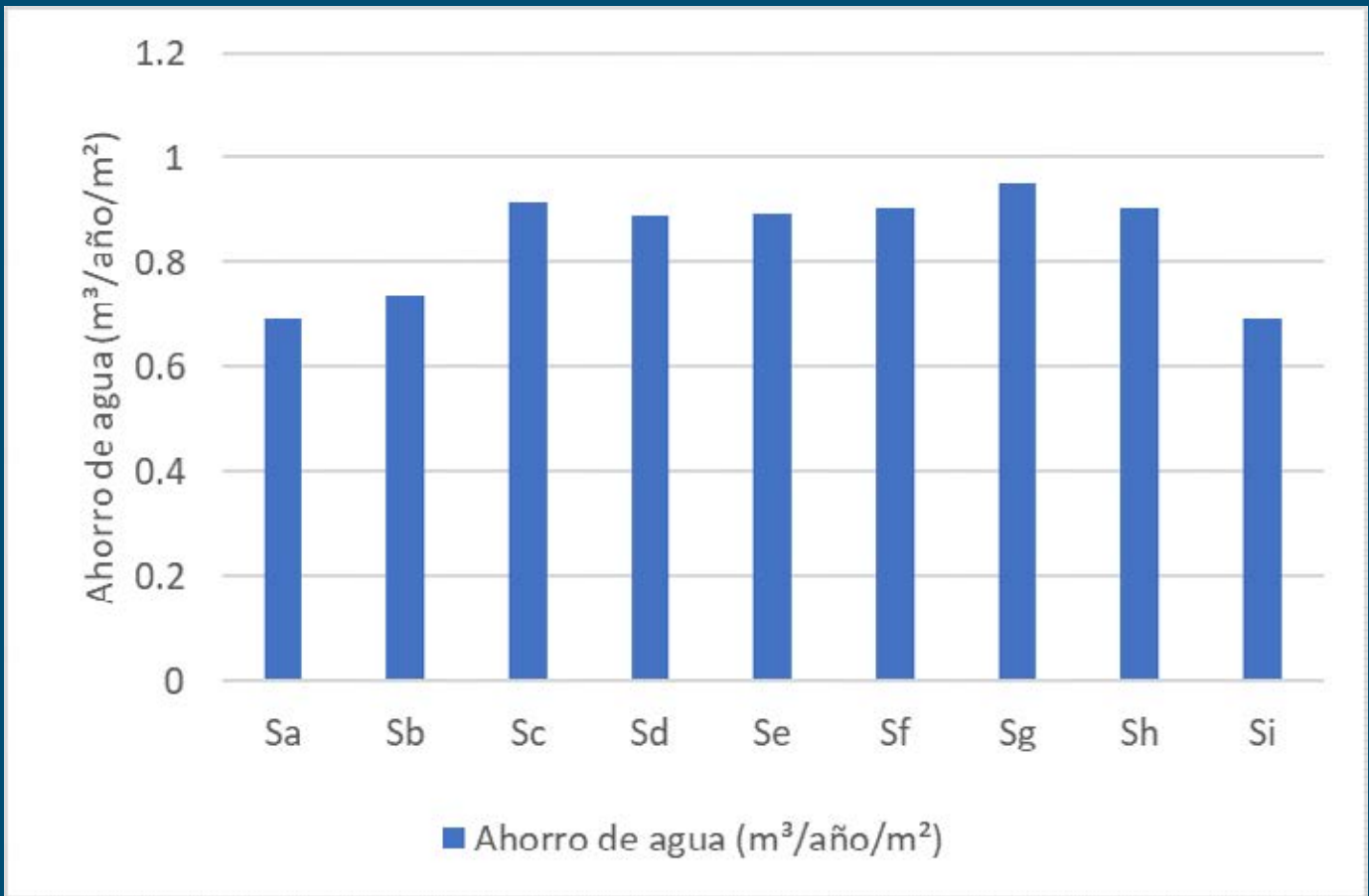


Figura 42. Ahorro anual de agua por m² HP.



13. Hallazgos y recomendaciones

AHORROS DE CONSUMO

- » Para edificios de salud nuevos se podrían obtener ahorros promedio anual de **109 kWh, 0.9 m³ de agua, 0.6 GJ** de energía incorporada en los materiales y **0.044 tCO₂ por cada metro cuadrado de construcción** con un costo incremental promedio que no supera los **USD20/m²**.
- » Para edificios hospitalarios existentes se podría obtener un ahorro anual de **72 kWh y 0.86 m³ de agua por cada metro cuadrado de construcción** con un costo incremental promedio que no supera los **USD49/m²**. Dependiendo de las medidas implementadas, ese costo podría bajar hasta **USD13.25/m²**.

AHORROS FINANCIEROS

- » El análisis realizado demostró que si bien hay varias opciones con diferentes costos de inversión inicial (medido como costo incremental), estas inversiones pueden ser rentables en un plazo razonable (menor a 7 años) si se consideran los ahorros de las tarifas de servicios públicos en la fase de operación.
- » Hecho el análisis financiero tanto con las tarifas de servicios públicos de EDGE como con una investigación específica de precios de mercado, se obtuvieron resultados favorables. De todos modos, así tal como el mismo EDGE recomienda, es necesario validar el valor de las tarifas de servicios públicos con las comercializadoras locales si se requiere hacer un análisis financiero más preciso.

ENERGÍA

- » La utilización de bombillas ahorradoras es clave tanto en climas fríos como cálidos. Se recomienda emplear lámparas LED, y si no fuera posible, usar lámparas fluorescentes compactas (CFL), T5, u otros tipos que alcancen 90 lm/W o superior.
- » El sistema de enfriamiento VRF con un COP de 3.5 siempre resultó positivo por su menor costo incremental en comparación con el nivel de ahorro, especialmente en los proyectos de mayor escala como lo son los hospitales. Los otros sistemas como el aire acondicionado enfriado por aire o agua no fueron tan efectivos y los costos incrementales son mayores.
- » Las pinturas reflectivas para cubierta y pared tienen un bajo aporte al ahorro y aumentan el costo incremental, aunque su efectividad es mayor en climas cálidos. La clave está en el tipo de cubierta y paredes que se seleccionen y en el tipo de aislamiento, especialmente en climas fríos. Sin embargo, en casos de muros de concreto y de ladrillos, el uso de estas pinturas tiene mejores resultados.
- » En edificios de baja complejidad y en climas calientes, el empleo de estrategias pasivas presenta una mayor eficiencia que las medidas activas. La ventilación natural para los espacios internos es determinante para generar estos resultados. Sin embargo, deben tenerse en cuenta posibles requerimientos de hermeticidad de ambientes o normativas específicas que no permitan el uso de la ventilación natural en determinadas áreas.
- » En el caso de mayor escala y en climas calientes no es suficiente emplear medidas pasivas de diseño. Es necesario incorporar un sistema de enfriamiento de VRF con un COP mínimo de 3.5 para alcanzar el estándar.
- » El empleo de protecciones de ventanas para limitar la radiación solar directa es una medida más costo-efectiva que el vidrio de alto rendimiento térmico, ya que este último presenta una eficiencia menor del 1.5% y aumenta sustancialmente el costo incremental en comparación otras opciones. Esta conclusión fue verificada tanto en

climas cálidos como fríos, aunque es necesario considerar otros factores como la proporción de ventana y pared, y la orientación del edificio.

- » La calefacción es el principal consumidor de energía en climas fríos o con temporadas de baja temperatura. Para estos casos, se deben seleccionar equipos de alta eficiencia con el fin de reducir los consumos energéticos.



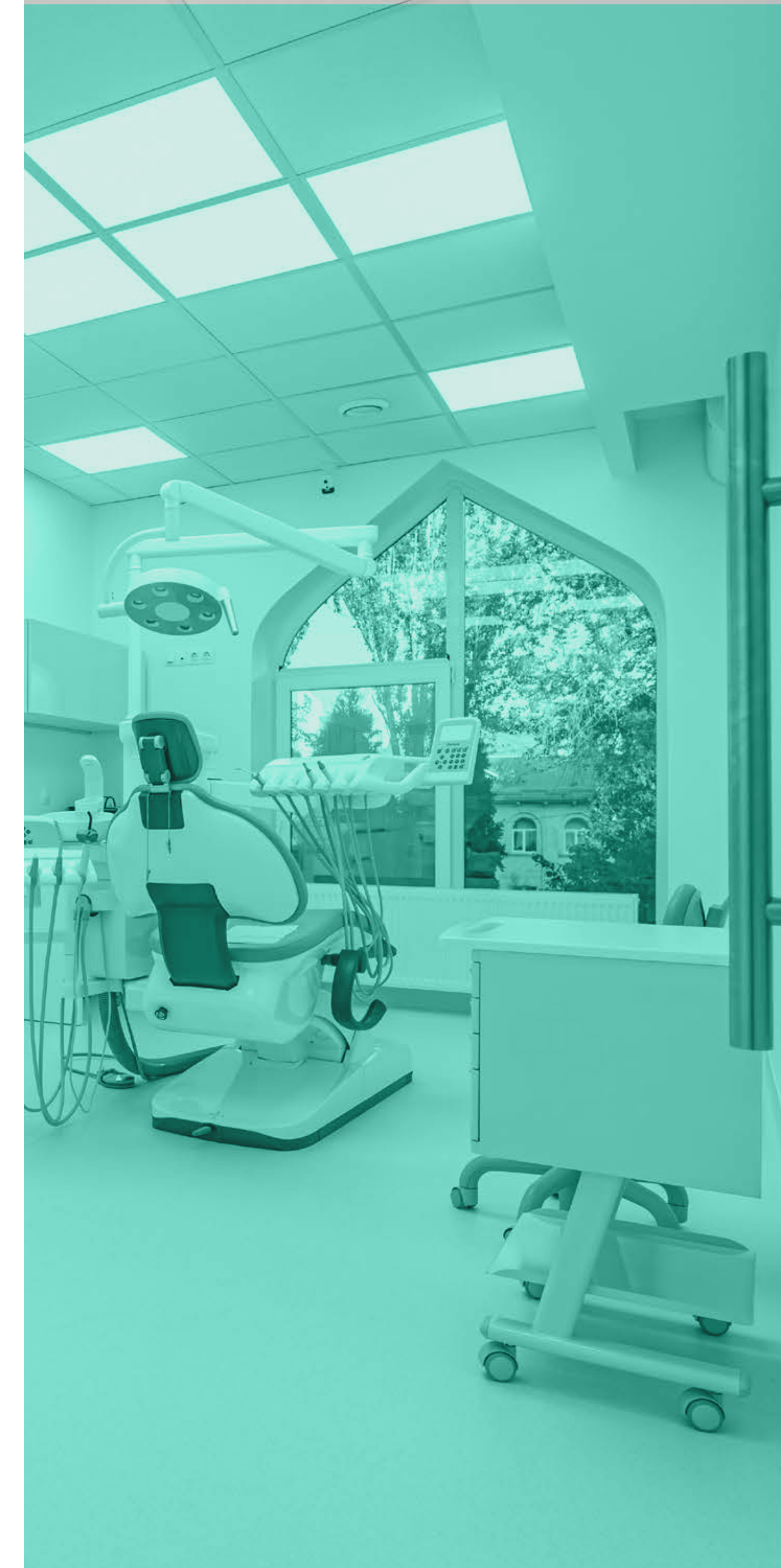
AGUA

- » De acuerdo con el consumo de agua, los edificios de salud se pueden agrupar en dos categorías: los que no cuentan con camas, cocina y lavandería, y los que sí cuentan con ese tipo de servicios. El consumo de agua final en los proyectos se ve incrementado de manera importante por servicios relacionados con lavandería y preparación de alimentos.
- » Si se utilizan los flujos y descargas mínimos propuestos por EDGE, se logra alcanzar una reducción en el consumo de agua de mínimo 20%, e inclusive, es posible sobrepasarla.
- » Se recomienda siempre implementar tecnologías ahorradoras que estén acorde con los flujos propuestos en EDGE o bien implementar otros que mejoren el ahorro en el consumo de agua.
- » El servicio de lavandería es el que mayor cantidad de agua demanda. Sin embargo, la reutilización de agua de estos servicios implica un alto costo incremental, además de más necesidad de tratamiento.
- » Independientemente del nivel de lluvia que exista en determinada ciudad, la inversión en sistemas de recuperación de agua de lluvia nunca se reflejó como un sistema efectivo. Sin embargo, el tratamiento y reciclaje de aguas grises sí presenta un bajo costo incremental y un alto aporte al ahorro de agua.
- » Los proyectos que cuenten con áreas verdes y de jardinería, deben contar con sistemas eficientes de riego y considerar especies nativas para evitar el uso excesivo de agua.



MATERIALES

- » Independientemente de las medidas propuestas por EDGE, la selección de los materiales para los proyectos debe estar siempre acorde a la normativa local. En estas generalmente se definen espesores y niveles de aislamientos mínimos que deben ser considerados.
- » La Malla 3D con concreto proyectado en ambas caras y poliestireno expandido en su interior, demostró un buen comportamiento energético y a un costo incremental razonable tanto en climas cálidos como fríos.
- » Si se utiliza el cerramiento de muro cortina (elemento opaco) en climas fríos, se aumenta significativamente el costo incremental, sin generar una reducción sustancial en la energía incorporada en los materiales. Para este tipo de climas se recomiendan fachadas con una mayor proporción de ventana versus pared (WWR), aunque esto también estará influenciado por la orientación y el tipo de vidrio empleado.
- » Por el contrario, en climas cálidos, el uso del muro cortina no permite lograr el estándar. Se recomienda no sobrepasar la relación del 50% entre muro y ventana en las 4 fachadas.
- » Si se desea emplear este tipo de muro cortina, se debe generar un diseño que integre un conjunto de estrategias pasivas y activas para la implementación óptima de la medida.
- » Las losas reforzadas de concreto en obra tienen un impacto positivo si se especifican con un espesor menor a 350mm y 35 kg de acero reforzado. Es importante ajustarse a las normativas locales de cada ciudad.
- » El PVC no plastificado y el aluminio presentan un costo incremental muy similar, aunque el primero tiene un mayor impacto en el ahorro de energía incorporada.





14. Limitaciones y consideraciones finales

Este análisis no pretendió ser exhaustivo y los resultados dependen exclusivamente de los parámetros y del listado de medidas establecidas por defecto en EDGE. En este sentido, los resultados aquí presentados no ofrecen conclusiones definitivas o soluciones únicas, sino solamente dan una guía inicial a los equipos de proyecto y a los tomadores de decisiones, en la identificación de las medidas que permitan obtener ahorros en el consumo energía y agua, menores costos de inversión y periodos de retorno de la inversión más cortos.

Las simulaciones fueron realizadas en septiembre de 2019, en la Versión 2.1.5 de EDGE. Por ese motivo, si el usuario realiza simulaciones en fecha posterior, existe la posibilidad de que la versión de la plataforma sea diferente, por

lo cual los resultados podrían no ser los mismos. Aproximadamente cada 3 años, EDGE actualiza la línea base de cada país incluyendo los costos de servicios públicos y a su vez, el IFC permanentemente está generando ajustes en la plataforma para mejorar su información y precisión.

La reducción en el consumo de energía con relación a las líneas de base no necesariamente maximiza el confort en la edificación. Se debe tener en cuenta que EDGE es, ante todo, un modelo para realizar comparaciones financieras direccionales. Para resultados en torno al confort de la edificación se requieren estudios adicionales más detallados que incorporen el uso de software dedicado a evaluar confort térmico de las edificaciones.

15. Bibliografía

- [1] Multilateral Development Banks (MDBs), “Joint Report on Multilateral Development Banks’ Climate Finance,” 2019.
- [2] L. Minoja, L. Fernández, and R. Yurivilca, “Hacia el 30% de financiamiento climático: ¿Cómo pueden contribuir los edificios? Lineamientos para la incorporación y contabilización de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático,” 2018.
- [3] A. Bhattacharya, C. Contreras, M. Jeong, AL. Amin, G Watkins, and M Silva. “Atributos y Marco Para La Infraestructura Sostenible.” Washington D.C., 2019. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18235/0001723>.
- [4] GABC, “2019 Global Status Report for Buildings and Construction,” 2019.
- [5] IPCC, *Global warming of 1.5°C An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*, . 2018.
- [6] Banco Mundial, “Cuidado de la salud climáticamente inteligente. Estrategias de baja emisión de carbono y resiliencia para el sector de la salud,” Washington D.C., 2017.



Anexos



Anexo 1. Descripción detallada de las ciudades consideradas

1. Hermosillo, México. (HMX)

La ciudad de Hermosillo se encuentra en el estado de Sonora, en el noroeste de México y a 210 metros sobre el nivel

del mar (m.s.n.m.). Se considera que tiene un clima desértico y durante el año virtualmente no tiene precipitaciones. La temperatura media anual es 20.7°C y la precipitación promedio es 26.7 mm al año. El clima se clasifica como BWh por el sistema Köppen-Geiger.

Figura 43. Condiciones atmosféricas y geográficas de Hermosillo/México.



Mes	Temperatura Promedio (°C)
Enero	13
Febrero	14
Marzo	17
Abril	21
Mayo	25
Junio	28
Julio	28
Agosto	26
Setiembre	25
Octubre	22
Noviembre	16
Diciembre	13
Temp. Max.	28
Temp. Min.	13
Promedio Anual	20.7
Precipitacion Promedio Annual (mm)	26.7
Latitud (Deg)	29

Figura 44. Condiciones atmosféricas y geográficas de Cartago/Costa Rica.



Mes	Temperatura Promedio (°C)
Enero	17.6
Febrero	18.1
Marzo	18.7
Abril	19.7
Mayo	20.5
Junio	20.3
Julio	19.8
Agosto	20.1
Setiembre	20.4
Octubre	20.1
Noviembre	19
Diciembre	18.1
Temp. Max.	20.5
Temp. Min.	17.6
Promedio Anual	19.4
Precipitacion Promedio Annual (mm)	1504.7
Latitud (Deg)	10

2. Cartago, Costa Rica (CCR)

Cartago se encuentra al sureste de la capital de Costa Rica, a una altitud de 1.435 m.s.n.m. En Cartago el clima es templado y cálido. Los veranos tienen una buena cantidad de lluvia, mientras

que los inviernos tienen muy poca. La temperatura promedio es 19.4°C y la precipitación promedio anual es de 1,504.70 mm. Esta ubicación está clasificada como Af por Köppen y Geiger

3. San Salvador, El Salvador (SEL)

San Salvador es la capital de El Salvador, y se encuentra a unos 670 m.s.n.m y a 25 km de la costa pacífica. El clima de San Salvador está clasificado como tropical en donde los veranos son mucho más

lluviosos que los inviernos. La temperatura promedio anual es de 24.2 °C y se tiene una precipitación promedio de 979 mm al año. La clasificación del clima de Köppen-Geiger es Aw.

Figura 45. Condiciones atmosféricas y geográficas de San Salvador/El Salvador.

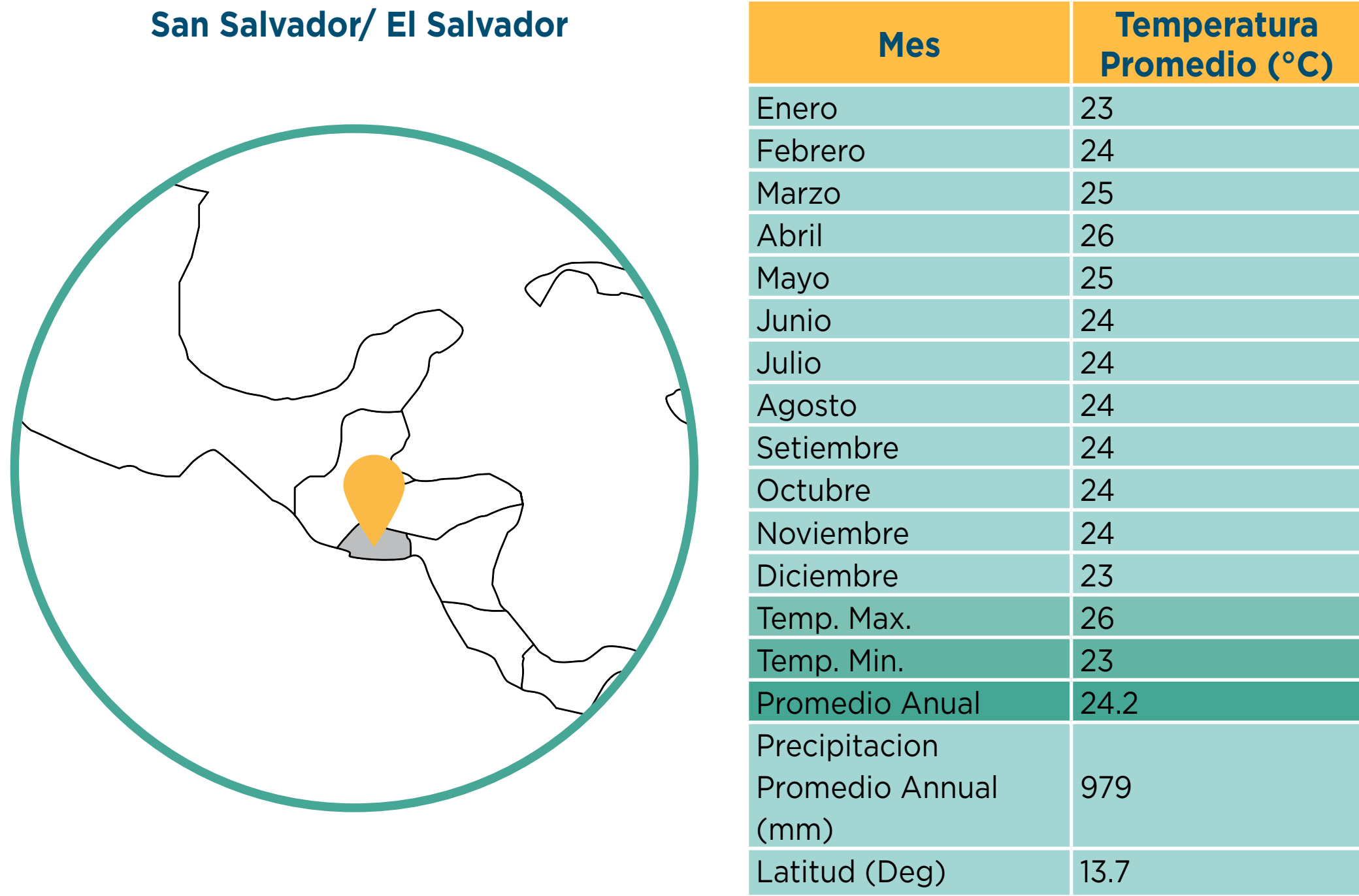
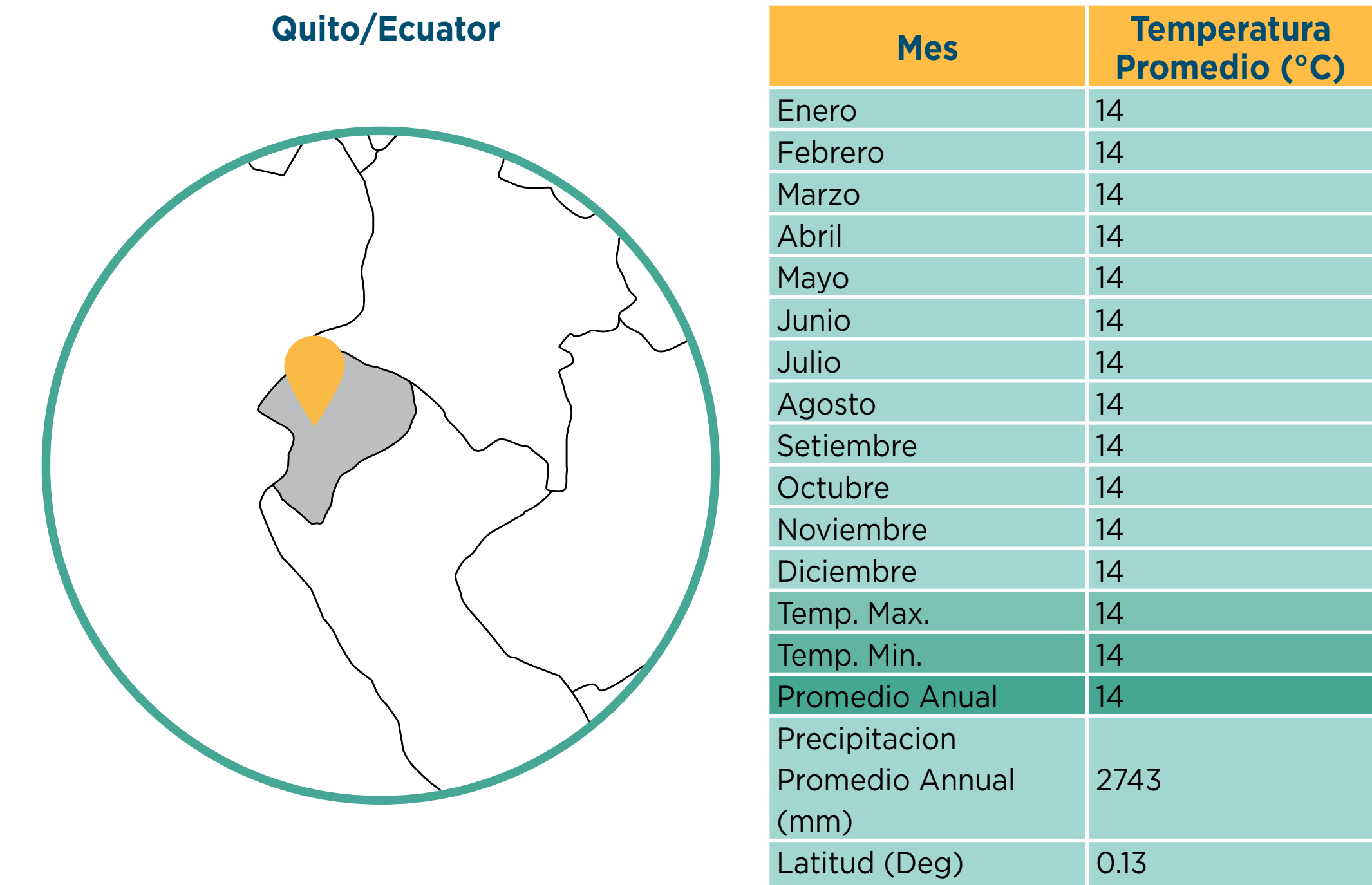


Figura 46. Condiciones atmosféricas y geográficas de Quito/Ecuador.



4. Quito, Ecuador (QEC)

Quito, capital de Ecuador se encuentra entre montañas a 2.850 m.s.n.m. El clima es templado y cálido con gran cantidad de lluvia incluso en el mes más seco. De acuerdo con Köppen y Geiger clima

se clasifica como Cfb con temperatura media anual de 14 °C y las precipitaciones promedio son de 2743 mm por año.

5. Santa Marta, Colombia (SMC)

Santa Marta se encuentra en Colombia, junto al mar Caribe, a una altitud de 15 m.s.n.m. En Santa Marta, se encuentra el clima de estepa local y lo largo del año se dan a pocas precipitaciones.

La temperatura media anual se encuentra a 25.8 °C y la precipitación es de 1777 mm al año. Este clima es considerado BSh según la clasificación climática de Köppen-Geiger.

Figura 47. Condiciones atmosféricas y geográficas de Santa Marta/Colombia.

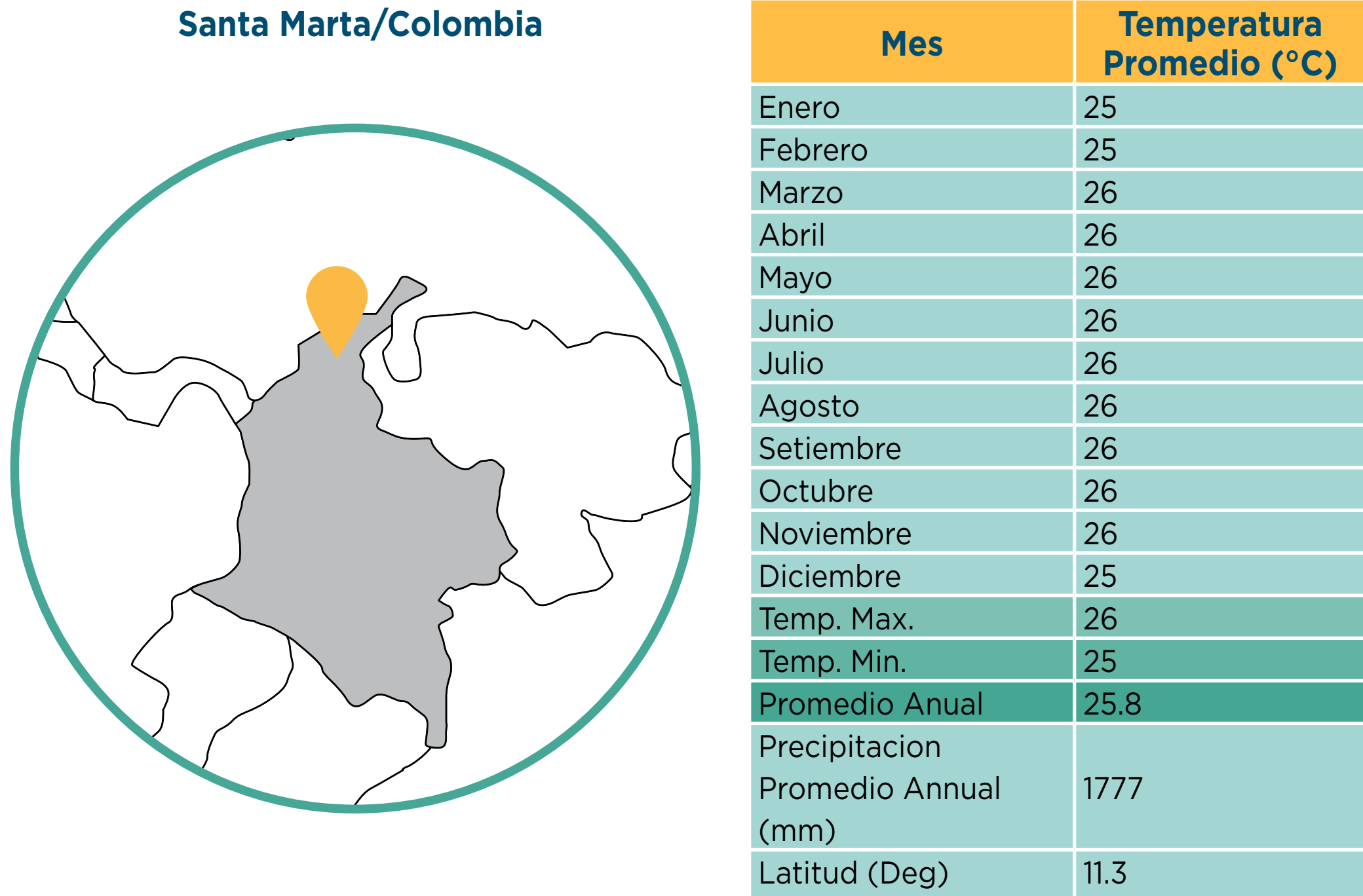
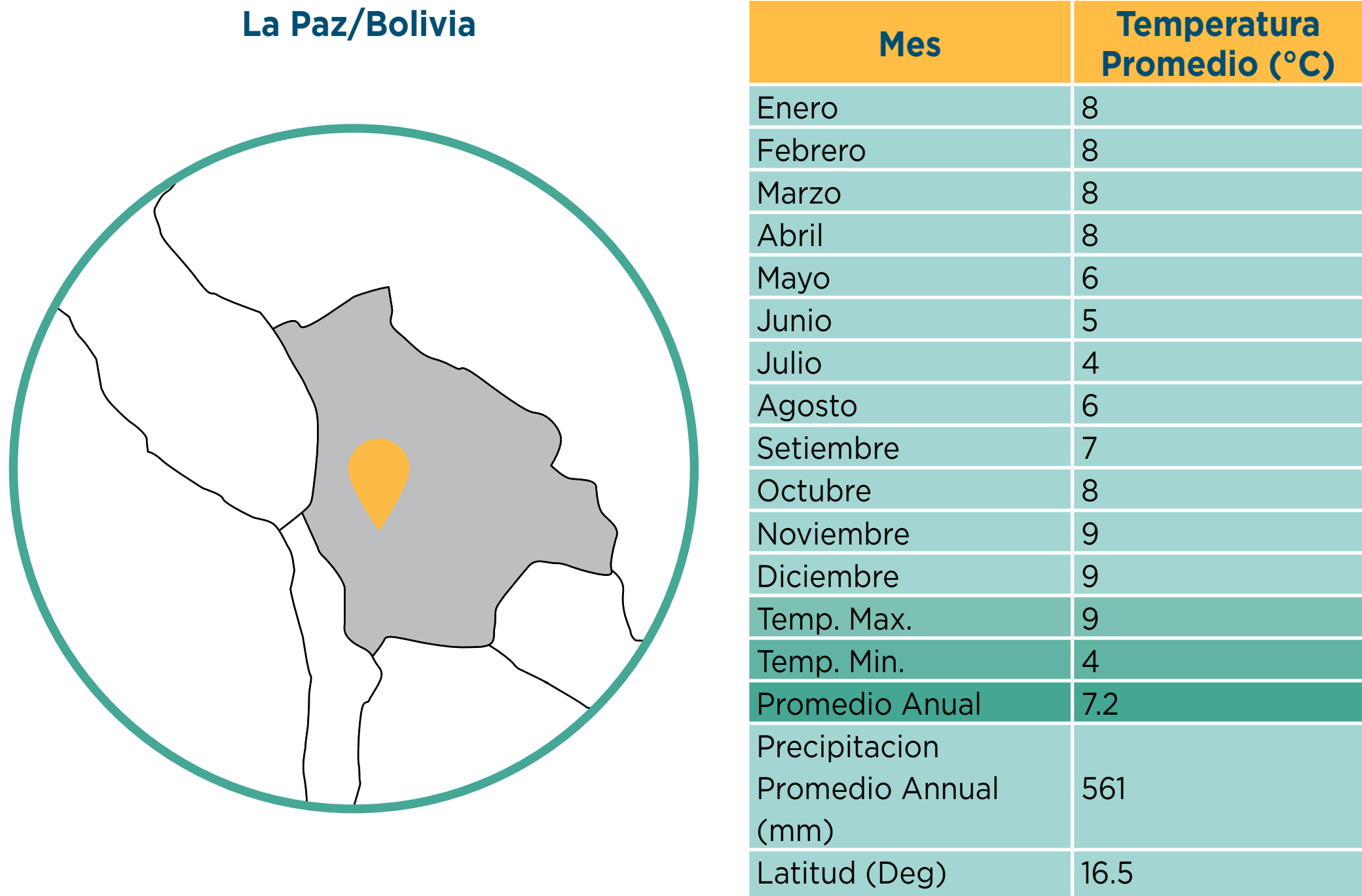


Figura 48. Condiciones atmosféricas y geográficas de La Paz/Bolivia.



6. La Paz, Bolivia (LPB)

La Paz, en Bolivia, se encuentra a 3.625 m.s.n.m. El clima es cálido y templado con veranos que presentan una buena cantidad de lluvia, mientras que los inviernos tienen muy poca. De acuerdo

con Köppen y Geiger clima se clasifica como Cwb con una temperatura promedio de 7.2 °C. Por otra parte, las precipitaciones promedio son de 561 mm por año.

7. Manaus, Brasil (MBR)

Manaos es la capital del estado de Amazonas en Brasil, se encuentra a 92 m.s.n.m. El clima es tropical en Manaos y la mayoría de los meses del año están marcados por lluvias significativas con una corta estación seca tiene poco

impacto. El clima aquí se clasifica como Am por el sistema Köppen-Geiger con una temperatura media anual de 27.3 °C, y las precipitaciones anuales son de 1811 mm en promedio.

Figura 49. Condiciones atmosféricas y geográficas de Manaos/Brasil.

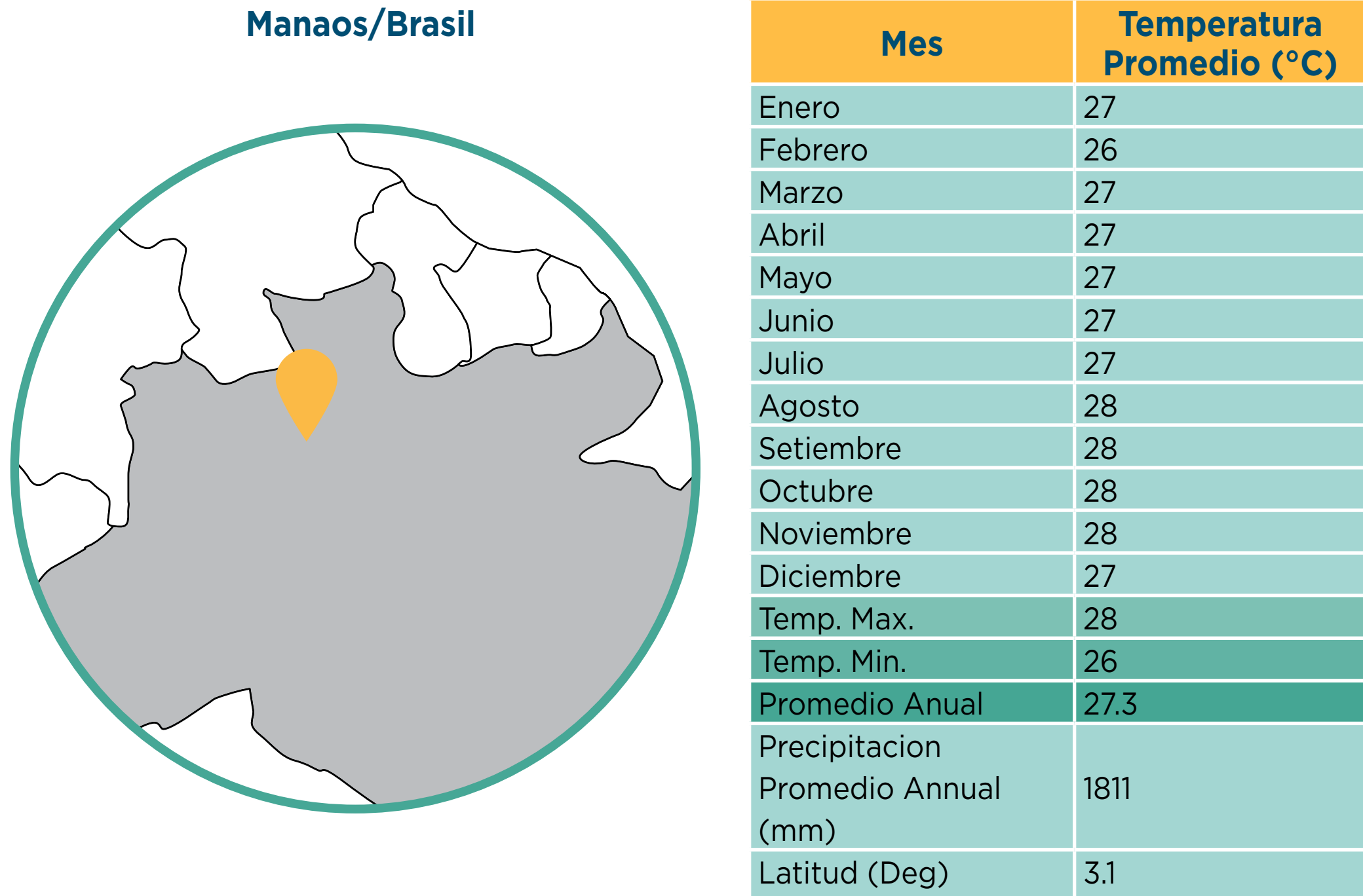
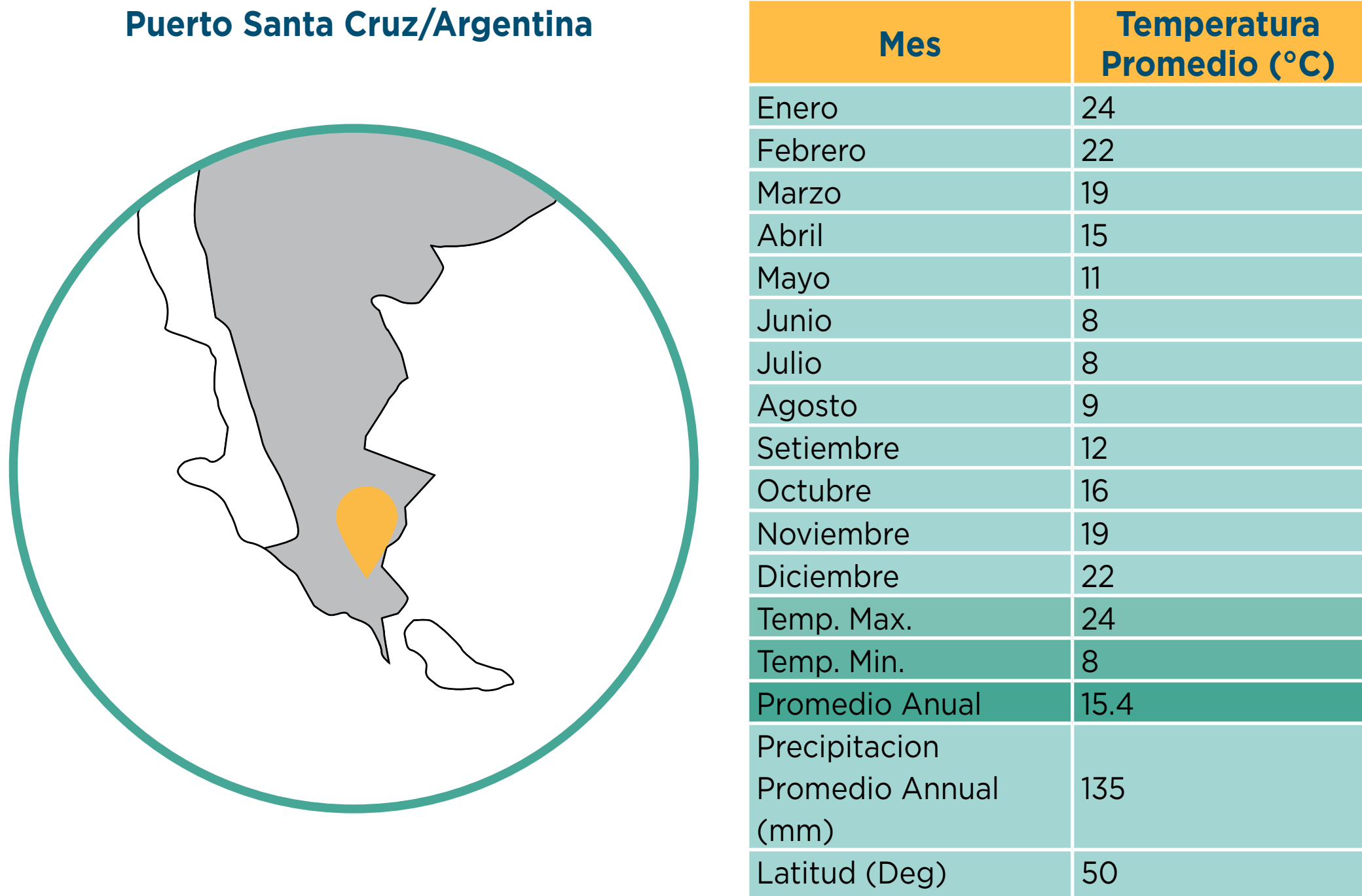


Figura 50. Condiciones atmosféricas y geográficas de Puerto Santa Cruz/Argentina.



8. Puerto Santa Cruz, Argentina (SCA)

Puerto Santa cruz es una pequeña ciudad de la provincia de Santa Cruz en Argentina, se encuentra sobre sobre el río del mismo nombre a menos de 20 kilómetros del mar argentino. Su altitud es de 0 m.s.n.m. En Puerto Santa Cruz se encuentra el clima de estepa local con

poca lluvia durante el año. La temperatura media anual es de 15.4 °C. y la precipitación media anual es de 135 mm. Este clima es considerado BSk según la clasificación climática de Köppen-Geiger.

Anexo 2. Descripción detallada de las edificaciones consideradas

1. Clínica de Pacientes Ambulatorios (CPA1)

Se propone un edificio de atención ambulatoria de 300 m², asimilable a un puesto de salud o un centro de salud de baja complejidad sin servicio de emergencias. No cuenta con hospitalización ni servicios de lavandería o cocina. Para la distribución áreas de espacios internos, orientación principal, profundidad del piso y supuestos para la línea base se empleó la información establecida por defecto por EDGE.

Con respecto a los sistemas se supuso que el edificio contará con un sistema de aire acondicionado y de calefacción.

Tabla 13. Parámetros e información de Clínica de pacientes ambulatorios (300 m²).

Clínica de pacientes Ambulatorios 1		
Información General	Área (m ²):	300
	Niveles:	1
	Área paisajismo (Exterior, m ²):	60
	Tasa Promedio ocupación:	70%
	Altura entre piso y cielo (m):	4
Información detallada	Tipo de Espacio	Área (m ²)
	Salas de Consulta	207
	Servicios de diagnóstico	24
	Oficinas	45
	Cuarto eléctrico y de máquinas	0
	Baños/Bodegas	7
	Área de espera	17
Dimensiones del Edificio (m)	Norte	8.7
	Sur	8.7
	Este	8.7
	Oeste	8.7
	Noreste	8.7
	Noroeste	8.7
	Sureste	8.7
	Suroeste	8.7

2. Clínica de Pacientes Ambulatorios (CPA2)

Se propone un edificio de atención ambulatoria de 1,500 m², asimilable a un centro de salud de mediana complejidad sin servicio de emergencias. No cuenta con hospitalización ni servicios de lavandería o cocina.

Para la distribución de áreas de espacios internos, orientación principal, profundidad del piso y supuestos para la línea base se empleó la información establecida por defecto por EDGE.

Con respecto a los sistemas se supuso que el edificio contará con un sistema de aire acondicionado y de calefacción.

Tabla 14. Parámetros e información de Clínica de pacientes ambulatorios (1500 m²).

Clínica de pacientes Ambulatorios 2		
Información General	Área (m ²):	1500
	Niveles:	1
	Área paisajismo (Exterior, m ²):	300
	Tasa Promedio ocupación:	70%
	Altura entre piso y cielo (m):	4
Información detallada	Tipo de Espacio	Área (m ²)
	Salas de Consulta	1034
	Servicios de diagnóstico	121
	Oficinas	224
	Cuarto eléctrico y de máquinas	0
	Baños/Bodegas	34
	Área de espera	86
Dimensiones del Edificio (m)	Norte	19.4
	Sur	19.4
	Este	19.4
	Oeste	19.4
	Noreste	19.4
	Noroeste	19.4
	Sureste	19.4
	Suroeste	19.4

3. Centro de Diagnóstico (CD)

Se propone un edificio ambulatorio, con una función principal de servicios de diagnóstico, y una superficie construida de 5000 m² distribuidos en dos niveles. Como en los casos de clínicas de pacientes ambulatorios, no cuenta con hospitalización ni servicios de lavandería o cocina, aunque si incluye un área de estacionamiento techado.

Para la distribución de áreas de espacios internos, orientación principal, profundidad del piso y supuestos para la línea base se empleó la información establecida por defecto por EDGE.

Con respecto a los sistemas se supuso que el edificio contará con un sistema de aire acondicionado y de calefacción.

4. Hospital de Especialidades Múltiples (HEM)

Se propone un edificio hospitalario de una superficie aproximada de 12.000 m², que incluye áreas quirúrgicas y 122 camas de hospitalización, así como servicios de lavandería y cocina, y estacionamiento techado.

Para la distribución de áreas de espacios internos, orientación principal,

Tabla 15. Parámetros e información de Centro de diagnóstico.

Centro de Diagnóstico		
Información General	Área (m²):	5000
	Niveles:	2
	Área paisajismo (Exterior, m²):	400
	Tasa Promedio ocupación:	70%
	Altura entre piso y cielo (m):	4
Información detallada	Tipo de Espacio	Área (m²)
	Servicios de diagnóstico	3158
	Oficinas	421
	Pasillos	421
	Cuarto eléctrico y de máquinas	0
	Baños/Bodegas	105
	Indoor car parking	526
Dimensiones del Edificio (m)	Área de Espera	368
	Norte	25
	Sur	25
	Este	25
	Oeste	25
	Noreste	25
	Noroeste	25
	Sureste	25
	Suroeste	25

profundidad del piso y supuestos para la línea base se empleó la información establecida por defecto por EDGE.

Con respecto a los sistemas se supuso que el edificio contará con un sistema de aire acondicionado y de calefacción.

Tabla 16. Parámetros e información de Hospital de Especialidades múltiples.

Hospital de Especialidades múltiples		
Información General	Área (m²):	12034
	Niveles:	3
	Área paisajismo (Exterior, m²):	1200
	Tasa Promedio ocupación:	70%
	Altura entre piso y cielo (m):	4
	Cantidad de camas	122
Información detallada	Con cocina y lavandería	
	Hospital de Especialidades	
	Tipo de Espacio	Área (m²)
	Áreas para pacientes - Servicios generales	5490
	Unidad de Cuidados Intensivos (UCI)	488
	Salas de cuidados pre/posoperatorios	244
	Salas de operaciones	488
	Salas de consulta	854
	Salas de terapia	488
	Servicios de diagnóstico	732
	Oficinas	244
	Pasillos	976
	Departamento de Suministros Estériles	244
	Cuarto eléctrico y de máquinas	200
	Baños/Bodega	122
	Cocina y preparación de alimento	488
	Lavandería	122
	Indoor Car Parking	732
	Áreas de espera	122
Dimensiones del Edificio (m)	Norte	31.7
	Sur	31.7
	Este	31.7
	Oeste	31.7
	Noreste	31.7
	Noroeste	31.7
	Sureste	31.7
	Suroeste	31.7

5. Hospital Universitario (HU)

Se propone un edificio hospitalario de unos 20,000 m² distribuidos en 6 niveles, incluyendo todos los servicios correspondientes y 227 camas de hospitalización

Para la distribución de áreas de espacios internos, orientación principal, profundidad del piso y supuestos para la línea base se empleó la información establecida por defecto por EDGE.

Con respecto a los sistemas se supuso que el edificio contará con un sistema de aire acondicionado y de calefacción.

6. Residencia de Ancianos (RA)

Se propone un edificio residencial, con alojamiento las 24 horas, se una superficie de 3,000 m² y dos niveles. El edificio cuenta con área de lavandería y cocina.

Para la distribución de áreas de espacios internos, orientación principal, profundidad del piso y supuestos para la línea base se empleó la información establecida por defecto por EDGE.

Con respecto a los sistemas se supuso que el edificio contará con un sistema de aire acondicionado y de calefacción.

Tabla 17. Parámetros e información de Hospital Universitario.

Hospital Universitario		
Información General	Área (m²):	20017
	Niveles:	6
	Área paisajismo (Exterior, m²):	1500
	Tasa Promedio ocupación:	70%
	Altura entre piso y cielo (m):	4
	Cantidad de camas	227
	Con cocina y lavandería	
Hospital Universitario		
Información detallada	Tipo de Espacio	Área (m²)
	Áreas para pacientes - Servicios generales	8172
	Áreas para pacientes - Salas de especialidades	1022
	Unidad de Cuidados Intensivos (UCI)	817
	Salas de cuidados pre/posoperatorios	409
	Salas de operaciones	817
	Salas de consulta	2043
	Servicios de diagnóstico	1022
	Oficinas	409
	Pasillos	1634
	Departamento de Suministros Estériles	409
	Cuarto eléctrico y de máquinas	200
	Baños/Bodega	204
	Cocina y preparación de alimento	817
	Lavandería	204
	Indoor Car Parking	613
	Áreas de espera	409
	Auditorio	817
Dimensiones del Edificio (m)	Norte	26.7
	Sur	26.7
	Este	26.7
	Oeste	26.7
	Noreste	26.7
	Noroeste	26.7
	Sureste	26.7
	Suroeste	26.7

Tabla 18. Parámetros e información de Residencia de Ancianos.

Residencia de ancianos		
Información General	Área (m²):	3000
	Niveles:	2
	Área paisajismo (Exterior, m²):	300
	Tasa Promedio ocupación:	70%
	Altura entre piso y cielo (m):	4
	Con cocina y lavandería	
Residencia de ancianos		
Información detallada	Tipo de Espacio	Área (m²)
	Áreas para pacientes - Servicios generales	1140
	Áreas para pacientes - Salas de especialidades	684
	Salas de consulta	143
	Oficinas	86
	Pasillos	86
	Cocina y preparación de Alimentos	285
	Comedor	285
	Área de Espera	57
	Cuarto eléctrico y de máquinas	115
	Lavandería	150
Dimensiones del Edificio (m)	Norte	19.4
	Sur	19.4
	Este	19.4
	Oeste	19.4
	Noreste	19.4
	Noroeste	19.4
	Sureste	19.4
	Suroeste	19.4

Anexo 3. Códigos empleados en el estudio

Tabla 19. Ciudades.

Ciudad	Código
Cártago – Costa Rica	CCR
Hermosillo – México	HMX
La Paz – Bolivia	LPB
Manaos – Brasil,	MBR
Quito – Ecuador	QEC
Puerto Santa Cruz – Argentina	SCA
San Salvador – El Salvador	SEL
Santa Marta – Colombia	SMC
Buenos Aires – Argentina	BAA

Tabla 22. Medidas de ahorro de agua.

Medida	Código
Duchas de bajo flujo - 7 litros/min	*HSW01
Lavatorios de bajo consumo en todos los baños. 2litros/min.	*HSW02
Doble descarga para los inodoros. 6 litros /primera descarga, 3 litros/ la segunda descarga.	*HSW03
Orinales con uso eficiente de agua en todos baños – 2 litros/descarga	*HSW04
Grifos para cocina con uso eficiente de agua - 6 litros/min	*HSW07
Jardinería con uso eficiente de agua - 4 litros/m²/día	HSW09
Sistema de tratamiento y reciclaje de aguas grises	HSW12

Tabla 20. Tipologías de edificio.

Tipología	Código
Clínica de pacientes Ambulatorios I	CPA1
Clínica de pacientes Ambulatorios II	CPA2
Centro de Diagnóstico	CD
Hospital de Especialidades Múltiples	HEM
Hospital Universitario	HU
Residencia de Ancianos	RA
Hospital Público Existente	HP

Tabla 23. Medidas de eficiencia en los materiales.

Medida	Código
Losas de piso y entrepiso	*HSM01
Construcción de cubierta	*HSM02
Paredes exteriores	*HSM03
Paredes interiores	*HSM04
Acabado de piso	*HSM05
Marcos de ventanas	*HSM06
Aislamiento de paredes	HSM07
Aislamiento de techo	HSM08

Tabla 21. Medidas de ahorro energético.

Medida	Código
Reducción de la proporción de vidrio en la fachada exterior	*HSE01
Pintura reflectiva/tejas para techo: reflectividad solar (albedo) de 0.7	HSE02
Pintura reflectiva para paredes externas: reflectividad solar (albedo) de 0.7	HSE03
Control solar externo - Factor promedio de sombreado anual (AASF) de 0.61	HSE04
Aislamiento del techo - Valor-U de 0.297	*HSE05
Aislamiento térmico paredes externas - Valor-U: 0.289	*HSE06
Vidrio de baja emisividad - Valor-U: 3 W/m².K y SHGC: 0.45	HSE07
Vidrio de alto rendimiento térmico - Valor-U: 1.95 W/m².K y SHGC: 0.28	HSE08
Ventilación natural - Pasillos	HSE09
Ventilación natural - Vestíbulo y áreas de espera y consulta	HSE10
Ventilación natural - Habitaciones de pacientes	HSE11
Refrigerante de Velocidad Variable (VRF). COP of 3.5	*HSE13
Aire acondicionado con enfriador por aire - COP de 3.3	*HSE14
Aire acondicionado enfriado por agua - COP 5.2	*HSE15
Unidades de frecuencia variable en las manejadoras de aire (AHU)	HSE20
Unidades de velocidad variable en bombas	HSE21
Recuperación de calor sensible del aire de salida. Eficiencia 60%	HSE22
Bombillas ahorradoras de energía - Espacios internos (excepto salas de terapia ocupacional)	HSE29
Bombillas ahorradoras de energía - Espacios externos	HSE30
Controles de iluminación para pasillos	HSE32
Sensores de ocupación en los baños	HSE33
Colectores de agua caliente solar - 60% de la demanda de agua caliente	HSE35
Energía solar fotovoltaica - 10% de la demanda total de energía	HSE36

Anexo 4. Resumen de medidas simuladas

Tabla 24. Resumen de medidas en Clínica de Pacientes Ambulatorios 1 (CPA1).

Energía	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSE01*																
HSE02																
HSE03																
HSE04																
HSE05*																
HSE06*																
HSE07																
HSE08																
HSE09																
HSE10																
HSE11																
HSE13																
HSE14																
HSE15																
HSE20																
HSE21																
HSE22																
HSE29																
HSE30																
HSE32																
HSE33																
HSE35																
HSE36																

Agua	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSW01*																
HSW02*																
HSW03*																
HSW04*																
HSW07*																
HSW09																
HSW12																

Materiales	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSM01*																
HSM02*																
HSM03*																
HSM04*																
HSM05*																
HSM06*																
HSM07																
HSM08																

Tabla 25. Resumen de medidas en Clínica de Pacientes Ambulatorios 2 (CPA2).

Energía	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSE01*																
HSE02																
HSE03																
HSE04																
HSE05*																
HSE06*																
HSE07																
HSE08																
HSE09																
HSE10																
HSE11																
HSE13																
HSE14																
HSE15																
HSE20																
HSE21																
HSE22																
HSE29																
HSE30																
HSE32																
HSE33																
HSE35																
HSE36																

Agua	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSW01*																
HSW02*																
HSW03*																
HSW04*																
HSW07*																
HSW09																
HSW12																

Materiales	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSM01*																
HSM02*																
HSM03*																
HSM04*																
HSM05*																
HSM06*																
HSM07																
HSM08																

Tabla 26. Resumen de medidas en Centro de Diagnóstico (CD).

Energía	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSE01*																
HSE02																
HSE03																
HSE04																
HSE05*																
HSE06*																
HSE07																
HSE08																
HSE09																
HSE10																
HSE11																
HSE13																
HSE14																
HSE15																
HSE20																
HSE21																
HSE22																
HSE29																
HSE30																
HSE32																
HSE33																
HSE35																
HSE36																

Agua	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSW01*																
HSW02*																
HSW03*																
HSW04*																
HSW07*																
HSW09																
HSW12																

Materiales	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSM01*																
HSM02*																
HSM03*																
HSM04*																
HSM05*																
HSM06*																
HSM07																
HSM08																

Tabla 27. Resumen de medidas en Hospital de Especialidades Múltiples (HEM).

Energía	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSE01*																
HSE02																
HSE03																
HSE04																
HSE05*																
HSE06*																
HSE07																
HSE08																
HSE09																
HSE10																
HSE11																
HSE13																
HSE14																
HSE15																
HSE20																
HSE21																
HSE22																
HSE29																
HSE30																
HSE32																
HSE33																
HSE35																
HSE36																

Agua	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSW01*																
HSW02*																
HSW03*																
HSW04*																
HSW07*																
HSW09																
HSW12																

Materiales	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSM01*																
HSM02*																
HSM03*																
HSM04*																
HSM05*																
HSM06*																
HSM07																
HSM08																

Tabla 28. Resumen de medidas en Hospital Universitario (HU).

Energía	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSE01*																
HSE02																
HSE03																
HSE04																
HSE05*																
HSE06*																
HSE07																
HSE08																
HSE09																
HSE10																
HSE11																
HSE13																
HSE14																
HSE15																
HSE20																
HSE21																
HSE22																
HSE29																
HSE30																
HSE32																
HSE33																
HSE35																
HSE36																

Agua	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSW01*																
HSW02*																
HSW03*																
HSW04*																
HSW07*																
HSW09																
HSW12																

Materiales	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSM01*																
HSM02*																
HSM03*																
HSM04*																
HSM05*																
HSM06*																
HSM07																
HSM08																

Tabla 29. Resumen de medidas en Residencia de Ancianos (RA).

Energía	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSE01*																
HSE02																
HSE03																
HSE04																
HSE05*																
HSE06*																
HSE07																
HSE08																
HSE09																
HSE10																
HSE11																
HSE13																
HSE14																
HSE15																
HSE20																
HSE21																
HSE22																
HSE29																
HSE30																
HSE32																
HSE33																
HSE35																
HSE36																

Agua	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSW01*																
HSW02*																
HSW03*																
HSW04*																
HSW07*																
HSW09																
HSW12																

Materiales	CCR		HMX		LPB		MBR		QEC		SCA		SEL		SMC	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
HSM01*																
HSM02*																
HSM03*																
HSM04*																
HSM05*																
HSM06*																
HSM07																
HSM08																

Anexo 5. Descripción detallada del hospital existente

1. Buenos Aires, Argentina (BAA)

En Buenos Aires, el clima es templado y cálido, con gran cantidad de lluvia, incluso en el mes más seco. La temperatura media anual es de 17.4 ° C. Y las precipitaciones promedio anuales son de 950 mm. Este clima es considerado subtropical húmedo (Cfa) según la clasificación climática de Köppen-Geiger.

Se propone un hospital público, construido en el año 2000 de aproximadamente 40.000 m², distribuidos en 10 niveles y sótano, incluyendo todos los servicios correspondientes y 429 camas de hospitalización

Para la distribución de áreas de espacios internos, orientación principal, profundidad del piso y supuestos para la línea base se empleó la información establecida por defecto por EDGE.

Con respecto a los sistemas se supuso que el edificio contará con un sistema de aire acondicionado y de calefacción, y un área verde exterior de 2.000 m².

Figura 51 . Condiciones atmosféricas y geográficas de Buenos Aires/Argentina.

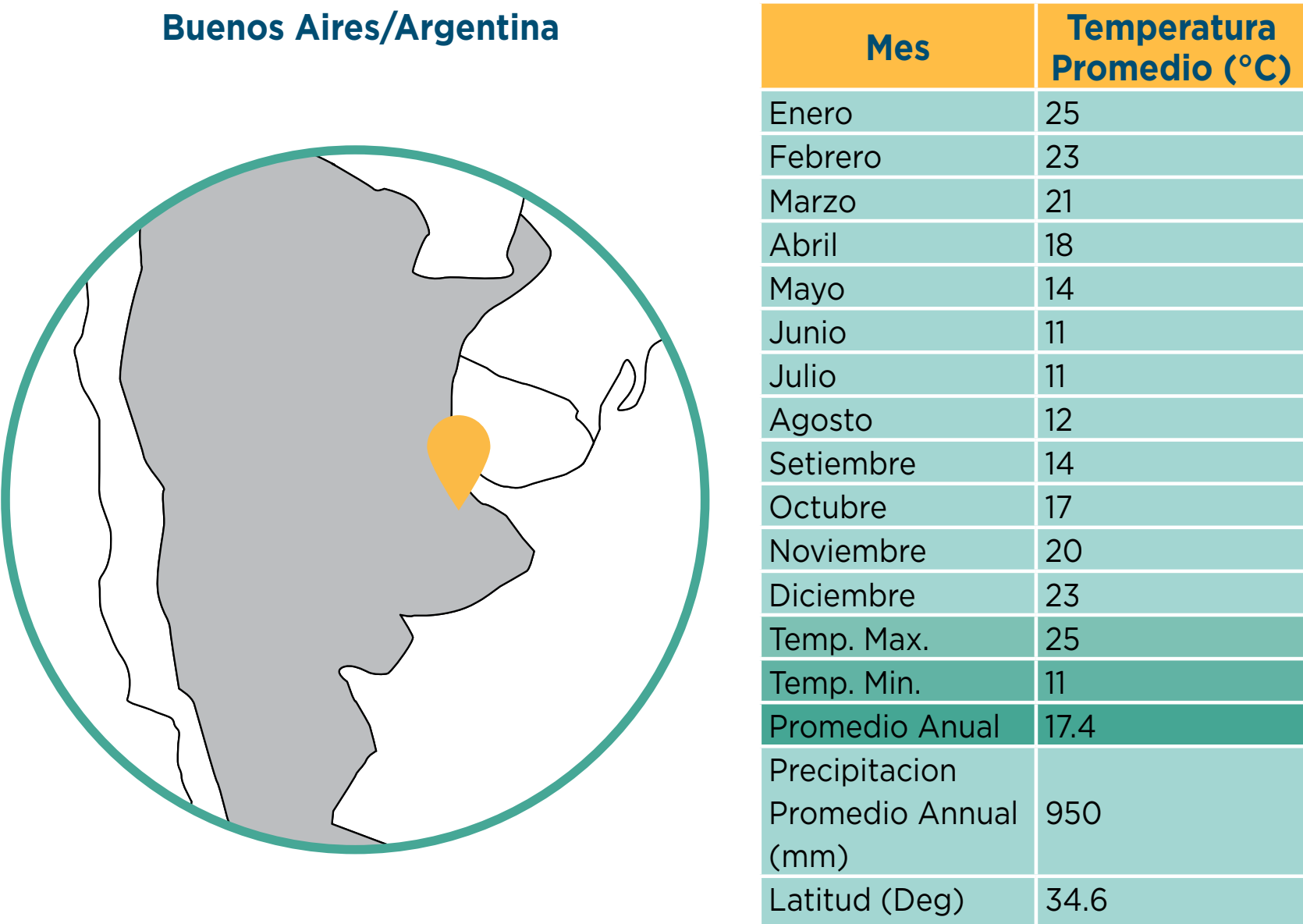


Tabla 30. Parámetros e información del hospital existente.

Hospital Público existente		
Información General	Área (m²):	40032
	Niveles:	10
	Área paisajismo (Exterior, m²):	2000
	Tasa Promedio ocupación:	70%
	Altura entre piso y cielo (m):	4
	Cantidad de camas	429
	Con cocina y lavandería	
Hospital de Especialidades		
Información detallada	Tipo de Espacio	Área (m²)
	Áreas para pacientes - Servicios generales	14264
	Áreas para pacientes - Salas de especialidades	4076
	Unidad de Cuidados Intensivos (UCI)	1630
	Salas de cuidados pre/posoperatorios	815
	Salas de operaciones	1630
	Salas de consulta	2856
	Salas de terapia	1630
	Servicios de diagnóstico	2445
	Oficinas	815
	Pasillos	3260
	Departamento de Suministros Estériles	815
	Cuarto eléctrico y de máquinas	500
	Baños/Bodega	408
	Cocina y preparación de alimento	1630
	Lavandería	408
	Indoor Car Parking	2445
	Áreas de espera	408
Dimensiones del Edificio (m)	Norte	28.9
	Sur	28.9
	Este	28.9
	Oeste	28.9
	Noreste	28.9
	Noroeste	28.9
	Sureste	28.9
	Suroeste	28.9

Anexo 6. Resumen de simulaciones para el hospital existente

Tabla 31. Cuadro resumen de estrategias implementadas por simulación.

Energía	Sa	Sb	Sc	Sd	Se	Sf	Sg	Sh	Si	Agua	Sa	Sb	Sc	Sd	Se	Sf	Sg	Sh	Si
HSE01*										HSW01*									
HSE02										HSW02*									
HSE03										HSW03*									
HSE04										HSW04*									
HSE05*										HSW07*									
HSE06*										HSW09									
HSE07										HSW12									
HSE08																			
HSE09																			
HSE10																			
HSE11																			
HSE13																			
HSE14																			
HSE15																			
HSE20																			
HSE21																			
HSE22																			
HSE29																			
HSE30																			
HSE32																			
HSE33																			
HSE35																			
HSE36																			

Anexo 7. Tarifas de servicios públicos según precios de mercado

Tabla 32. Tarifas eléctricas según precios de mercado (Oct-2019).

Ciudad/País	Tarifa Eléctrica \$/kWh ¹	Empresa	Año
Hermosillo/México	\$ 0.17	Pag. Web Comisión Federal de Electricidad, CFE ²	2019
Cartago/Costa Rica	\$ 0.1847	ICE ³	2019
San Salvador/ El Salvador	\$ 0.1102	Estadísticas del subsector eléctrico de los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), 2016. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). CAESS ⁴	2016
Quito/Ecuador	\$ 0.081	Agencia de Regulación y Control de Electricidad Ecuador ⁵	2019
Santa Marta/Colombia	\$ 0.15	Pag. Web Electrificadora del Caribe. Electricaribe ⁶	2019
La Paz/Bolivia	\$ 0.11832	Pag. Web Distribuidora Eléctrica de La Paz. DeLaPaz ⁷	2019
Manaos/Brazil	\$ 0.17	Global Petrol Prices.com ⁸	2019
Santa Cruz/Argentina	\$ 0.095	Ente Nacional Regulador de la Electricidad de Argentina ⁹	2019
Buenos Aires/ Argentina	\$ 0.095	Ente Nacional Regulador de la Electricidad de Argentina ¹⁰	2019

1. Todas en USD según tipo de cambio de XE (<https://www.xe.com/>) cuando aplica.
2. <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Negocio.aspx>
3. <https://www.grupoice.com/wps/portal/ICE/Electricidad/servicios-empresariales>
4. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/42720-estadisticas-subsector-electrico-paises-sistema-la-integracion-centroamericana>
5 <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/resoluciones-pliegos-tarifarios/>
6. <http://www.electricaribe.co/tu-energia/>
7 www.delapaz.bo
8 https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/
9. <https://www.argentina.gob.ar/enre/tarifas>

Tabla 33. Tarifas de agua según precios de mercado (Oct-2019).

Ciudad/País	Tarifa \$/m ³ ¹¹	Empresa	Año
Hermosillo/México	\$ 2.958	H. Ayuntamiento de Hermosillo ¹²	2019
Cartago/Costa Rica	\$ 2.97	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados ¹³	2019
San Salvador/ El Salvador	\$ 1.822	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados ¹⁴	2019
Quito/Ecuador	\$ 0.98	EPMAPS Agua de Quito ¹⁵	2019
Santa Marta/Colombia	\$ 1.54	Empresa de Servicios Públicos de Santa Marta (Essmar E.S.P.) ¹⁶	2019
La Paz/Bolivia	\$ 1.76	Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico ¹⁷	2010
Manaos/Brazil	\$ 3.9	Agua de Manaus ¹⁸	2019
Santa Cruz/Argentina	\$ 0.4475	AYASA ¹⁹	2019
Buenos Aires/ Argentina	\$ 0.4475	AYASA ¹	2019

11. Todas en USD según tipo de cambio de XE (<https://www.xe.com/>) cuando aplica.
12. <http://aguadehermosillo.gob.mx/aguah/tarifas/>
13. <https://www.aya.go.cr/servicioCliente/SitePages/estimacionImporte.aspx>
14. <http://www.anda.gob.sv/pliego-tarifario/calculo-de-tarifa/>
15. <https://www.aguaquito.gob.ec>
16. <https://www.hoydiariodelmagdalena.com.co/archivos/229102>
17. <http://www.aaps.gob.bo/images/DER/EPAS.pdf>
18. <http://www.aguasdemanous.com.br/legislacao-e-tarifas/>
19. <https://www.aysa.com.ar/usuarios/Conoce-tu-factura>

EDIFICIOS VERDES

PARA EL SECTOR SALUD

Identificación de medidas costo-efectivas
para un diseño sostenible

Eric Fischel – Wilhelm Dalaison – Esperanza González-Mahecha
Ignacio Astorga – Michelle Carvalho Hallack – Virginia Snyder

