



NUEVA NORMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA MÍNIMA PARA APARATOS DE AIRE ACONDICIONADO EN EL ECUADOR

Diego Chatellier-Lorentzen, Alberto Díaz-González, Michael McNeil y Stephane
de la Rue du Can
Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley

Febrero de 2024



Descargo de responsabilidad

Este documento fue preparado como un informe de trabajo patrocinado por el gobierno de los Estados Unidos. Aunque se cree que este documento contiene información correcta, ni el gobierno de los Estados Unidos ni ninguna agencia del mismo, ni The Regents of the University of California, ni ninguno de sus empleados, ofrece ninguna garantía, expresa o implícita, ni asume ninguna responsabilidad legal por la exactitud, integridad o utilidad de cualquier información, aparato, producto o proceso divulgado, ni declara que su uso no infringiría derechos de propiedad privada. La referencia en este documento a cualquier producto, proceso o servicio comercial específico por su nombre comercial, marca registrada, fabricante u otro, no constituye ni implica necesariamente su aprobación, recomendación o favorecimiento por parte del gobierno de los Estados Unidos o cualquier agencia del mismo, o de The Regents of the University of California. Los puntos de vista y opiniones de los autores aquí expresados no reflejan necesariamente los del Gobierno de los Estados Unidos ni los de ningún organismo del mismo, ni los de The Regents of the University of California.

Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory es un empleador que ofrece igualdad de oportunidades.

Aviso de copyright

Este manuscrito ha sido escrito por un autor en el Lawrence Berkeley National Laboratory bajo el Contrato No. DE-AC02-05CH11231 con el Departamento de Energía de los Estados Unidos. El gobierno de los EE.UU. retiene, y el editor, al aceptar el artículo para su publicación, reconoce que el gobierno de los EE.UU. retiene una licencia no exclusiva, pagada, irrevocable y mundial para publicar o reproducir la forma publicada de este manuscrito, o permitir que otros lo hagan, para fines del gobierno de los EE.UU..

AGRADECIMIENTOS

El trabajo descrito en este estudio fue financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) en el marco del contrato nº DE-AC02-05CH11231 del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley con el Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Los autores desean agradecer a Wei-Ming Chen, de USAID, y a Virginie Letschert, del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, por su revisión de este trabajo. Los autores también agradecen al Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (MPCEIP), al Ministerio de Energía (MEM) y al Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) por el valioso apoyo brindado en la recopilación de la información para este reporte.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	12
2. ANTECEDENTES.....	13
2.1 GEOGRAFÍA Y CLIMA DEL ECUADOR	13
2.2 PANORAMA DEL SISTEMA ELÉCTRICO ECUATORIANO.....	15
2.3 CONSUMO DE ENERGÍA Y ENFRIAMIENTO.....	17
2.4 CONTEXTO POLÍTICO.....	19
2.4.1 <i>Visión general</i>	19
2.4.2 <i>Marco normativo</i>	20
3. MERCADO DEL AIRE ACONDICIONADO EN EL ECUADOR.....	23
3.1 FUENTES DE INFORMACIÓN	23
3.2 MERCADO ACTUAL DE AA EN EL ECUADOR.....	24
3.3 EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MERCADO DE AA EN EL ECUADOR.....	27
4. CONSUMO DE ENERGÍA DE AA Y EMISIONES DE CO₂ RELACIONADAS EN EL ECUADOR.....	29
4.1 CONSUMO ACTUAL DE ENERGÍA Y EMISIONES DE GEI.....	29
4.2 MÉTODOS DE PREVISIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO	33
4.2.1 <i>Modelo de difusión</i>	33
4.2.2 <i>Previsiones de población, hogares y PIB</i>	36
4.2.3 <i>Consumo de energía de referencia y construcción de escenarios</i>	37
4.2.4 <i>Modelo de contabilidad de ventas</i>	40
4.2.5 <i>Análisis de picos de demanda eléctrica</i>	41
4.2.6 <i>Economía del consumidor</i>	42
4.3 NUEVOS NEEM, AHORRO ENERGÉTICO Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI.....	43
4.3.1 <i>Impactos nacionales</i>	43
4.3.2 <i>Análisis del coste del ciclo de vida</i>	48
5. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN	50
5.1 COMPROMISO DE LAS PARTES INTERESADAS.....	50
5.2 CAPACIDAD ADMINISTRATIVA.....	50
5.3 MONITOREO, VERIFICACIÓN Y CUMPLIMIENTO	51
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
7. REFERENCIAS	56

LISTA DE TABLAS

Tabla ES 1. Impactos en 2045 de los NEEM Sc2 y Sc6 propuestos	9
Tabla 1 .Clasificación de las provincias ecuatorianas por regiones climáticas.	14
Tabla 2 . Comparación de las NMEE par AA por países.	22
Tabla 3. Niveles de eficiencia energética y cuota de mercado por marcas de equipos convencionales de AA en el Ecuador.	28
Tabla 4. Resultados UEC para el escenario BAU (kWh/año).	30
Tabla 5. Resultados del factor de carbono eléctrico y pérdidas de transmisión y distribución por región climática en el Ecuador, 2022	32
Tabla 6. Comparación de los modelos de difusión de AA.	36
Tabla 7. Variables utilizadas para la previsión del PIB y de los hogares.	37
Tabla 8. NEEM del nuevo sistema mini-split propuesto para el Ecuador (escenario 2).	39
Tabla 9 . Definiciones de escenarios de eficiencia energética para nuevos AA NEEM, SEER (W/W).	39
Tabla 10 . UEC máxima aceptable para los nuevos escenarios AA NEEM, (kWh/año).	40
Tabla 11. Costes de inversión de la tecnología de generación térmica.	42
Tabla 12. Precios de la AA utilizados para el análisis LCC, USD.	42
Tabla 13. UEC considerado para el análisis ACCV, kWh/año.	43
Tabla 14. Ahorro energético anual con las distintas NEEM en 2035 y 2045, GWh.	46
Tabla 15. Ahorro acumulado en las facturas de electricidad con las distintas NEEM en 2035 y 2045, millones de USD.	46
Tabla 16. Subsidios acumulados evitados con las distintas NEEM en 2035 y 2045, millones de USD.	47
Tabla 17. Capacidad de generación evitada con las distintas NEEM en 2035 y 2045, MW.	47
Tabla 18. Inversiones en capacidad evitadas según las distintas NEEM en 2035 y 2045, millones de USD.	47
Tabla 19. Reducción acumulada de las emisiones de CO ₂ con las distintas NEEM en 2035 y 2045, millones de toneladas de CO ₂ .	48
Tabla 20. Resultados del CCV de tamaño medio para diferentes regiones climáticas.	49
Tabla 21. Configuración del mercado ecuatoriano de AA.	60
Tabla 22 . Referencia de eficiencia energética para equipos de aire acondicionado por marca, tipo y capacidad, EER (Wt/We).	60
Tabla 23. Resultados del ACCV para la región Litoral.	61
Tabla 24. Resultados del ACCV para la región amazónica.	61
Tabla 25. Resultados del CCV para la región de Sierra.	61
Tabla 26. Factores de descomposición LMDI-I para el uso de electricidad AA.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura ES 1. Resumen de los resultados del impacto nacional de 2025 a 2045 para los nuevos EEMM propuestos	9
Figura 1. Crecimiento de la demanda de electricidad en América Latina, 2021-2040.	12
Figura 2. Mapa de clasificación climática de Köppen-Geiger para el Ecuador (1980-2016).	14
Figura 3. Mapa de las provincias ecuatorianas por regiones climáticas.	15
Figura 4. Consumo de electricidad por sectores en el Ecuador de 2018 a 2022 .	16
Figura 5. Izquierda. Capacidad instalada de generación de electricidad en 2022. Derecha. Producción bruta de electricidad en 2022	17
Figura 6. Factor de emisión de electricidad en el Ecuador de 2014 a 2022.	17
Figura 7. Consumo medio mensual de electricidad por cliente en el sector residencial en el Ecuador, 2022.	18
Figura 8. Estimación de la carga de enfriamiento con metodología Top-Down para el sector residencial en el Ecuador, 2022.	19
Figura 9. Número de hogares que poseen una unidad de aire acondicionado en el Ecuador por zona climática.	24
Figura 10. Tasa de propiedad de AA para el sector residencial en el Ecuador.	24
Figura 11. Importaciones de AA de 2015 a 2022	25
Figura 12. Stock de AA en el Ecuador de 2011 a 2023	26
Figura 13. Distribución de la capacidad de enfriamiento y del tipo de tecnología para el mercado de AA en el Ecuador	28
Figura 14. Diagrama de la metodología de desagregación para el número total de AA.	30
Figura 15. Uso de electricidad de AA y emisiones de CO ₂ relacionadas en el Ecuador de 2018 a 2022	31
Figura 16. Participación mensual en la generación en la generación bruta de electricidad por tipo de tecnología en la región del Litoral, 2022.	32
Figura 17. Porcentaje de consumo eléctrico de AA en comparación con el consumo eléctrico residencial, residencial del litoral y total nacional.	33
Figura 18. Modelo de difusión de AA por región climática en el Ecuador	35
Figura 19. Comparación de los modelos de difusión de AA.	36
Figura 20. Proyección del consumo eléctrico de enfriamiento residencial.	44
Figura 21. Proyecciones del consumo de electricidad por enfriamiento para el escenario BAU y el escenario de una nueva NEEM propuesta.	44
Figura 22. Consumo previsto de electricidad para enfriamiento en los distintos escenarios, 2020-2045	45
Figura 23. UEC proyectado para el escenario de referencia y nuevas NEEM.	46
Figura 24. Resultados del ACCV a diez años para la región de la Sierra del Ecuador.	49

Lista de acrónimos

AA	Aire Acondicionado
ACCV	Análisis del Coste del Ciclo de Vida
AIE	Agencia Internacional de Energía
BAU	Escenario de referencia
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CDD	Grados-día de enfriamiento
CE	Consumo de Energía
CIC	Consejo Interministerial de Calidad
CICE	Costos de Inversión en Capacidad Evitados
CGE	Capacidad de Generación Evitada
CNEE	Comité Nacional de Eficiencia Energética
EER	Índice de Eficiencia Energética
EE4D	Proyecto de Eficiencia Energética para el Desarrollo
EMEE	Etiqueta de Máxima Eficiencia Energética
ENIGH	Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares
GdE	Gobierno del Ecuador
GEI	Gases de Efecto Invernadero
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
JICA	Agencia de Cooperación Internacional de Japón
KOICA	Agencia de Cooperación Internacional de Corea
LBNL	Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley
LSEC	Ley para el Sistema Ecuatoriano de la Calidad
MCI	Motor de Combustión Interna
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MPCEIP	Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca
NEC	Norma Ecuatoriana de Construcción
NEEM	Norma de Eficiencia Energética Mínima

MVC Monitoreo, Verificación y Cumplimiento
PAMS Sistema de Modelización de Análisis de Políticas
PC Primeras Compras
PIB Producto Interno Bruto
PLANEE Plan Nacional para la Eficiencia Energética
PPA Paridad de Poder Adquisitivo
PTB Instituto Alemán de Metrología
SAE Servicio de Acreditación Ecuatoriano
SDS Escenario de Desarrollo Sustentable
SEER Índice de Eficiencia Energética Estacional
SENAE Servicio Nacional de Aduana del Ecuador
SNEE Sistema Nacional de Eficiencia Energética
T&D Transmisión y Distribución
UE Unión Europea
UEC Consumo Unitario de Energía
USAID Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos
USD Dólares Americanos
WP&PL Bombeo de Agua y Alumbrado Público.

RESUMEN EJECUTIVO

El sistema eléctrico del Ecuador depende en gran medida de la energía hidroeléctrica. En 2022, el 75% de la producción bruta de electricidad procedió de centrales hidroeléctricas (ARCERNNR, 2022a). Aunque la electricidad generada a partir de la energía hidroeléctrica tiene un bajo factor de carbono, su generación depende en gran medida de la disponibilidad de precipitaciones. En los últimos años, debido a la falta de lluvias suficientes para utilizar plenamente la capacidad hidroeléctrica, el Ecuador no ha podido satisfacer la demanda de electricidad (ARCERNNR, 2022c). El gobierno ecuatoriano está intentando resolver el problema de la escasez de electricidad activando centrales térmicas, aumentando las importaciones de gas y mediante licitaciones internacionales (MEM, 2023). Además del lado de la oferta eléctrica, el gobierno también está considerando soluciones por el lado de la demanda. Este estudio evaluó las oportunidades y beneficios de reducir la demanda de electricidad mediante la mejora de la eficiencia energética en el enfriamiento de espacios, actualizando la Norma de Eficiencia Energética Mínima (NEEM) de las unidades de Aire Acondicionado (AA) a niveles más estrictos.

El enfriamiento de espacios es el uso final de energía de más rápido crecimiento en los edificios de todo el mundo. Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), a finales de 2016, se utilizaban aproximadamente 1.600 millones de AA en todo el mundo, lo que representa aproximadamente 11,7 TW de capacidad de enfriamiento instalada (AIE, 2018). En América Latina, se espera que la demanda de electricidad crezca un 72% entre 2021 y 2040 (AIE, 2021), y se espera que el uso de electricidad para enfriamiento contribuya con el 16% de ese crecimiento, o alrededor de 150 TWh, lo que representa más de un tercio de todo el crecimiento de los usos finales de electricidad en el sector de los edificios. Se prevé que el uso de AA sea la segunda mayor fuente de crecimiento de la demanda de electricidad para edificios en 2045, después del sector industrial (AIE, 2018; Osaka, 2023).

Se observan tendencias similares en el creciente uso de AA en el Ecuador y el correspondiente aumento del consumo de electricidad. El consumo nacional de electricidad en el Ecuador aumentó un 36%, pasando de 16,7 TWh en 2018 a 22,1 TWh en 2022. Este estudio identificó que el consumo de electricidad proveniente del uso de AA aumentó en un 57% en el Ecuador durante el mismo período de 4 años, lo que representa aproximadamente el 11% del crecimiento total del consumo de electricidad. El aumento del consumo de electricidad de AA se convirtió en un factor que contribuyó a la crisis de escasez de energía del Ecuador, pero también ofrece un gran potencial para resolver el problema. Una estrategia factible es actualizar el NEEM.

El NEEM para AA en el Ecuador se introdujo por primera vez en 2017 (EER 3.2W/W); desde entonces, no se han propuesto nuevos estándares en el país. Por lo tanto, el NEEM actual en el Ecuador es obsoleto en varios aspectos y necesita actualizarse para reflejar mejor la evolución del mercado y alinearse con los objetivos del Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE) y la Ley de Eficiencia Energética, con el Decreto Ejecutivo 68, emitido en 2021. El NEEM para AA es bajo comparado con las mejores prácticas regionales e internacionales y no existe un estándar distinto para los diferentes tipos de equipos o distinción de capacidad. Este informe analiza los patrones actuales de uso de AA y los escenarios de desarrollo prospectivo como base para la actualización de los NEEM de AA en el Ecuador.

El PLANEE incluye líneas de actuación en los ejes Residencial, Comercial y Público. Estos sectores representaban el 60% del consumo total de electricidad en 2022, según datos de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR) (ARCERNNR, 2023b). Como parte

del plan para atender estos niveles de consumo de energía y electricidad, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) desarrolló mecanismos regulatorios, creó iniciativas tributarias y financieras, y lanzó iniciativas para avanzar en la eficiencia energética en estos sectores. En coordinación con el INEN, el MEM desarrolló 11 normas de eficiencia energética desde 2007 para avanzar en las prácticas de gestión de la energía y la construcción energéticamente eficiente y 23 Reglamentos Técnicos para asegurar la prevalencia de equipos domésticos e industriales de alta eficiencia en el mercado ecuatoriano.

El Programa de Eficiencia Energética para el Desarrollo (EE4D por sus siglas en inglés) es una asociación entre la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID por sus siglas en inglés) y el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBNL por sus siglas en inglés) para promover la eficiencia energética en los países socios. En el Ecuador, la asociación trabaja en colaboración con el Ministerio de Producción, Comercio Internacional, Inversiones y Pesca (MPCEIP), el Ministerio de Energía y Minas (MEM) y el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) para prestar asistencia técnica en la actualización de la normativa vigente sobre eficiencia energética de los aparatos de aire acondicionado. La actualización propuesta se alinea con los objetivos generales establecidos por el Plan Nacional de Eficiencia Energética y la Ley de Eficiencia Energética y con el Decreto Ejecutivo 68, emitido en 2021.

Este informe proporciona una evaluación técnica de una revisión del NEEM de AA en el Ecuador, y sirve como base para la participación de las partes interesadas como parte del proceso de desarrollo normativo para actualizar el NEEM de AA en el Ecuador. Este informe puede ser utilizado como guía por los responsables políticos en el diseño de un programa de actualización de la NEEM bien fundamentado, de impacto y consistente con las mejores prácticas regionales e internacionales. Así mismo, resaltar los beneficios energéticos, ambientales y económicos del NEEM en los usuarios y la nación en su conjunto.

Las metodologías utilizadas en este informe incluyen el análisis de escenarios de cinco niveles diferentes de NEEM, la estimación logística de la tasa actual de propiedad de AA y la proyección del stock de AA en el Ecuador hasta 2045. El análisis del uso de la energía evalúa el ahorro energético potencial derivado del aumento de la eficiencia de los AA en el Ecuador y constituye la base de los valores de ahorro energético utilizados en los análisis posteriores y en el Análisis del Coste del Ciclo de Vida (ACCV).

INFORMACIÓN DE BASE: CONCLUSIONES CLAVE

Los sectores comercial y residencial (el sector de los edificios) representaban el 60% del consumo eléctrico de Ecuador en 2022. Las tasas de propiedad de AA en los hogares se han más que duplicado en los últimos 9 años, mientras que el producto interior bruto (PIB) per cápita aumentó en más del 50%. Más del 90% de los usuarios de AA se encuentran en la región del Litoral. El uso residencial de electricidad para AA en la región del Litoral representa el 26% del uso residencial de electricidad (52% de la población). De 2015 a 2020, las importaciones de AA crecieron a un ritmo del 12% anual, casi duplicándose en 5 años.

Los resultados de este estudio muestran que, en 2022, aproximadamente 470.000 de los AA instalados eran menos eficientes que la normativa de eficiencia energética vigente, lo que indica que el 47% de los AA en el Ecuador no cumplen los requisitos de la normativa vigente. La tasa de propiedad nacional en 2020 era inferior al 10%, mientras que en la región del Litoral alcanzaba alrededor del 17%. Incluso para la región del Litoral, el mercado está lejos de estar saturado debido a las condiciones climáticas presentes en la región, lo que indica que el Ecuador puede experimentar una aceleración del aumento de la propiedad de AA en los próximos años. De octubre a mayo, la región del Litoral experimenta un aumento de la producción de electricidad procedente de centrales hidroeléctricas, coincidiendo con la temporada alta de demanda de electricidad, lo que revela una fuerte dependencia de esta fuente de energía para ayudar a cubrir la temporada alta de consumo.

Las emisiones de CO₂ por el uso de AA en el Ecuador entre 2018 y 2022 aumentaron aproximadamente un 20%, pasando de alrededor de 0,9 a 1,1 millones de toneladas de CO₂. Esto representa aproximadamente el 2,5% de las contribuciones incondicionales determinadas a nivel nacional para 2025 (Climate Resource, 2021).

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Se analizaron cinco escenarios con distintos niveles de eficiencia y se compararon con un escenario de referencia. Estos niveles de eficiencia son:

- Sc 1: Aplicación actual del NEEM: Ecuador Nivel NEEM
- Sc 2: Propuesta de nuevos NEEM: México Nivel NEEM
- Sc 3: Mejores prácticas regionales: Argentina Nivel NEEM
- Sc 4: Calificación "A" de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas, norma COPANT 1711
- Sc 5: Nivel NEEM de la Unión Europea: Nivel NEEM de la Unión Europea (UE)
- Sc 6: Alta eficiencia: una combinación entre los niveles NEEM de la UE para equipos convencionales y los niveles de eficiencia media para equipos inverter que se encuentran en Karali, et al., 2020.

Se prevé que el número total de AA se duplique con creces de aquí a 2035 y se cuadruple con creces de aquí a 2045, ya que se prevé que la tasa de propiedad de AA se triplique y el número de hogares aumente en más de un 50% de aquí a 2045. En el escenario de referencia (BAU por sus siglas en inglés), se prevé que el consumo de electricidad de AA en el sector residencial se duplique de aquí a 2035 y se cuadruple con creces de aquí a 2045, pasando de aproximadamente 1 TWh en 2020 a unos 2,4 TWh en 2035 y unos 4,3 TWh en 2045.

Para el nuevo NEEM propuesto correspondiente al escenario Sc2 definida anteriormente, las estimaciones indican que la capacidad evitada gracias a las mejoras de la eficiencia energética podría alcanzar los 240 MW en 2035 y los 460 MW en 2045. Esto es especialmente interesante para la región del Litoral, porque la demanda de carga máxima se satisface con centrales térmicas que utilizan combustibles fósiles.

El escenario Sc2 presenta un consumo eléctrico inferior al de la mejor práctica regional (Sc3) y al del escenario Sc1, alcanzando una reducción anual aproximada del 9% del consumo eléctrico en comparación con el escenario BAU.

Los escenarios de mayor eficiencia (Sc5 y Sc6) presentan el menor consumo eléctrico de todos los escenarios, alcanzando una reducción anual del consumo eléctrico del 25% y el 29%, respectivamente, en comparación con el escenario BAU. La diferencia de precio de compra entre un AA del escenario BAU y un AA de los escenarios 2-4 es de unos 50 USD, mientras que en comparación con los AA de los escenarios Sc5 y Sc6, la diferencia de precio es de 290 USD. Aunque los escenarios de mayor eficiencia (Sc5 y Sc6) tienen un impacto significativamente mayor en comparación con los otros escenarios en términos de ahorro de energía, costes de funcionamiento y rentabilidad a largo plazo, el elevado coste inicial puede suponer una carga excesiva para los hogares de bajos recursos.

BENEFICIOS DE LA REVISIÓN DEL NEEM

La figura RE 1 presenta el ahorro acumulado en facturas de electricidad y la inversión evitada en aumento de capacidad eléctrica para el nuevo NEEM propuesto de 2025 a 2045. De 2024 a 2035, el ahorro acumulado en facturas de electricidad se sitúa en torno a los 150 millones de USD y alcanza los 550 millones de USD en 2045. La capacidad de inversión evitada se estima en 240 millones USD en 2035 y casi

se duplica hasta alcanzar los 460 millones USD en 2045. La reducción del consumo de electricidad de AA también se muestra en la Figura RE 1, considerando como año base 2024. Puede observarse que el consumo anual de electricidad de AA alcanza un máximo en 2035, en torno al 9%, y se mantiene constante durante el resto del periodo de análisis.

Figura RE 1. Resumen de los resultados del impacto nacional de 2025 a 2045 para la nueva NEEM propuesta.

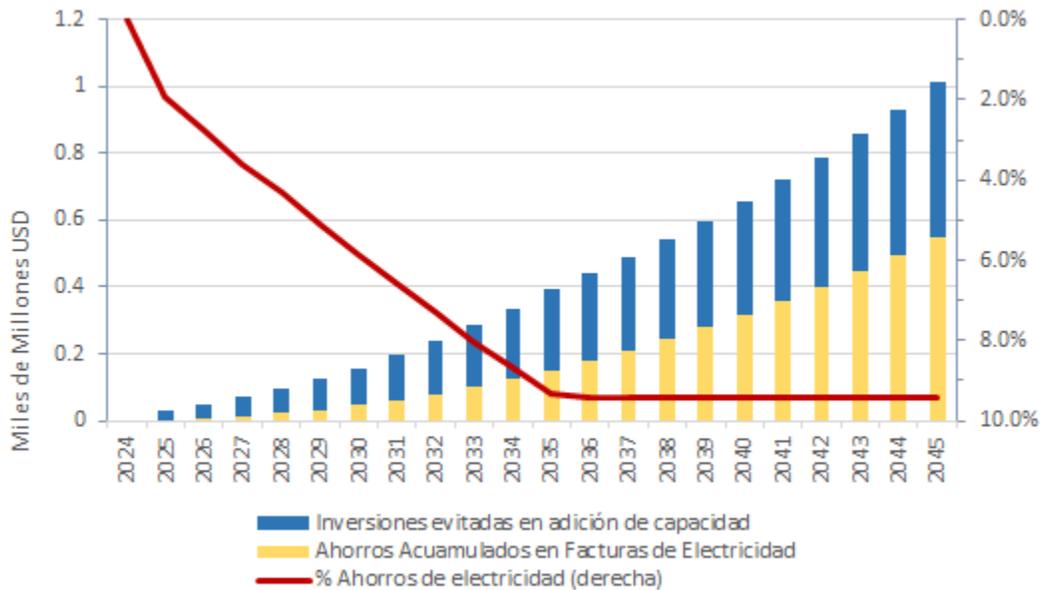


Tabla RE 1. Impactos en 2045 de los NEEM Sc2 y Sc6 propuestos

	NEEM propuestos (Sc2)	Potencial técnico (Sc6)
Ahorro energético anual (TWh)	0.60	1.88
Ahorro en facturas de electricidad (miles de millones USD)	0.55	1.7
Capacidad evitada (MW)	474	1,485
Inversión en capacidad evitada (miles de millones USD)	0.47	1.5
Subvenciones evitadas (millones de USD)	24	75
Emisiones acumuladas evitadas de CO ₂ (Millones de toneladas de CO ₂)	4.1	12.8
Mejora de la eficiencia energética	13%	46%
Aumento del coste de los equipos (USD/AA)	\$46	\$287

La Tabla RE 1 resume los impactos asociados con la adopción de estándares de mayor eficiencia (Sc2 y Sc 6) para los AA en el Ecuador. Los impactos se presentan para la nueva NEEM propuesta y para el potencial

técnico alcanzable. Se prevé que con la adopción de los nuevos NEEM propuestos, los ahorros en las facturas de electricidad y la inversión evitada en nueva capacidad de energía ascenderían aproximadamente a 1.000 millones de USD en 2045.

ANÁLISIS DEL COSTE DEL CICLO DE VIDA

El ACCV analiza el balance entre los mayores costes de adquisición de un AA más eficiente y el ahorro consecuente en forma de facturas de electricidad más bajas durante los 10 años de vida útil del aire acondicionado.

Este estudio demostró que todos los niveles de eficiencia analizados son rentables para los consumidores en todas las zonas climáticas ecuatorianas, excepto en la región de la Sierra, donde sólo el escenario Sc1 es rentable para los consumidores. Esto debido a la baja intensidad de uso del acondicionamiento de aire. El escenario más rentable es escenario Sc6, que equivale a un aumento del 46% de la eficiencia en comparación con el escenario BAU. Los periodos de amortización varían entre 3,3 años en la región del Litoral y 8,8 años en la región de la Sierra, dependiendo del tamaño de la unidad de aire acondicionado. En el caso del NEEM propuesto, los beneficios oscilan entre 60 y 300 dólares a lo largo de 10 años en concepto de ahorro energético para el consumidor.

RECOMENDACIONES

Reglamento:

- Basándonos en los resultados del ACCV, recomendamos revisar los NEEM lo antes posible a los niveles de eficiencia correspondientes a los escenarios 2 o 4 y proponemos revisar al nivel 5 en 2029 para facilitar la adaptación del mercado, ya que este nivel ofrece mayores beneficios económicos para los consumidores. Esto incluye un cambio en la métrica de la eficiencia al Índice de Eficiencia Energética Estacional (SEER por sus siglas en inglés), ya que es una medida más precisa de la eficiencia de los climatizadores que la medida utilizada actualmente; el Índice de Eficiencia Energética (EER por sus siglas en inglés).
- Diseñar otros programas dirigidos a la adopción de AA de alta eficiencia, para preparar el mercado para futuras actualizaciones a NEEM más elevados. La adopción de normas de eficiencia más estrictas para las AA (escenarios 4 y 5) es aún más beneficiosa para la sociedad en términos de ahorro de energía, reducción de emisiones, ahorro de dinero en las facturas de electricidad e inversiones evitadas en nueva capacidad energética.

Conformidad:

- Con el fin de aumentar la tasa de cumplimiento del reglamento, recomendamos desarrollar una base de datos de certificación para controlar mejor el mercado. Esto puede ser gestionado por MPCEIP con el apoyo del Servicio Ecuatoriano de Acreditación (SAE), el INEN y el Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (SENAE), incluyendo la capacitación para gestionar la base de datos de certificación y las actividades relacionadas con el Monitoreo, Verificación y Cumplimiento (MVC).
- Crear directrices para que los importadores y minoristas de productos de AA comprendan el NEEM y el proceso de verificación del cumplimiento.
- Trabajar con MPCEIP, SAE, SENAE y las agencias certificadoras para identificar posibles lagunas o imprecisiones en la información facilitada para el proceso de certificación (certificados de conformidad, etiquetado, declaraciones aduaneras) desde el punto de fabricación hasta el punto de entrada.

Programas complementarios:

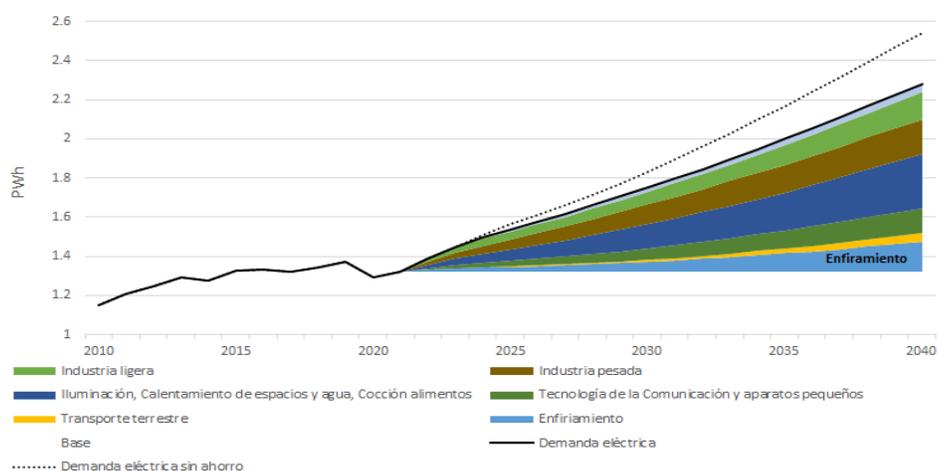
- Establecer un grupo de trabajo con el gobierno, la industria, la comunidad investigadora y las organizaciones internacionales de desarrollo para explorar mecanismos financieros que permitan crear un laboratorio de pruebas de eficiencia energética de AA en el país.
- Continuar los esfuerzos para mejorar la eficiencia energética y disminuir el consumo de electricidad en el sector de los edificios (60% del consumo nacional de electricidad). La revisión en curso de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), emprendida por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, representa una oportunidad para actualizar el componente de eficiencia energética del código.
- Aprovechar los esfuerzos en curso de las organizaciones internacionales de desarrollo (PTB, JICA, KOICA, BID, Banco Mundial) para explorar los mecanismos financieros que podrían crearse en coordinación con el fondo nacional de inversión para la eficiencia energética del Ecuador para apoyar la implementación de iniciativas como un programa de sustitución de AA.

1. Introducción

Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), en 2016 se utilizaban en todo el mundo aproximadamente 1600 millones de aparatos de aire acondicionado (AA), lo que representa alrededor de 11,7 TW de potencia de enfriamiento de capacidad instalada (AIE, 2018). Las estimaciones indican que, de 1990 a 2016, el uso de electricidad para enfriamiento se triplicó. Este rápido crecimiento se ha visto influido por el crecimiento de las economías en los países en desarrollo, como el aumento de los niveles de ingresos, el aumento de las tasas de urbanización y electrificación, y la caída de los precios de los dispositivos de AA. A medida que aumentan las temperaturas en el mundo, se prevé que las regiones húmedas realicen importantes inversiones en AA. De aquí a 2045, la AIE prevé que se venderán 10 unidades de AA cada segundo. Para 2045, se prevé que el principal impulsor del crecimiento de la demanda de electricidad para edificios sea el uso de AA, que ocupará el segundo lugar en crecimiento de demanda de electricidad después del sector industrial (AIE, 2018; Osaka, 2023).

Basándose en las tendencias de crecimiento económico, la AIE prevé que el consumo de electricidad en América Latina casi se duplique entre 2020 y 2040 (Figura 1). Sin embargo, el Escenario de Desarrollo Sostenible (SDS por sus siglas en inglés) de la AIE esboza un plan para lograr la expansión económica, garantizar la seguridad energética y reducir el impacto de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) relacionadas. En este escenario, las medidas de eficiencia energética representan el 40% de la diferencia entre las trayectorias existente y revisada (AIE, 2021). Como se muestra en la Figura 1, en este escenario se prevé que la demanda de electricidad de América Latina crezca cerca del 72% entre 2020 y 2040. Se prevé que la electricidad utilizada sólo para enfriamiento contribuya en un 16% a ese crecimiento, o cerca de un aumento de 150 TWh. Esto representa más de un tercio del crecimiento del consumo eléctrico del sector de los edificios¹, lo que resalta la importancia del enfriamiento en el consumo futuro de electricidad.

Figura 1. Crecimiento de la demanda de electricidad en América Latina, 2021-2040.



Fuente: (AIE, 2021)

¹ Considerando el enfriamiento, la iluminación, el calentamiento de espacios y agua y el crecimiento del consumo de electricidad para cocinar.

El Programa de Eficiencia Energética para el Desarrollo (EE4D por sus siglas en inglés), una alianza formada entre la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID por sus siglas en inglés) y el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBNL por sus siglas en inglés) para desplegar asistencia técnica que promueva la eficiencia energética en los países socios, está trabajando con el Ministerio de Producción, Comercio Internacional, Inversiones y Pesca (MPCEIP), el Ministerio de Energía y Minas (MEM), y el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) para apoyar la actualización de la actual regulación de eficiencia energética para AA. La actualización propuesta se alinea con los objetivos generales establecidos por los principales instrumentos de política de eficiencia energética en el Ecuador, que son el Plan Nacional de Eficiencia Energética, la Ley de Eficiencia Energética y el Decreto Ejecutivo 68, emitido en 2021. Estos marcos políticos generan la necesidad de revisar y actualizar todas las normas y reglamentos técnicos ecuatorianos para avanzar en la competitividad, mejorar las prácticas regulatorias y ajustarse a los estándares energéticos internacionales.

El objetivo de este informe es evaluar las repercusiones de una nueva Norma de Eficiencia Energética Mínima (NEEM) para los AA en el Ecuador. En este trabajo se proporcionan los siguientes elementos clave:

- Estudio de mercado de AA en el Ecuador (marcas, capacidades, eficiencia energética y precios).
- Análisis del uso de la electricidad y de las emisiones relacionadas, y proyecciones hasta 2045. Evaluación de los niveles actuales de eficiencia del mercado, uso de la energía y emisiones relacionadas. Evaluación del ahorro potencial de electricidad derivado de NEEM más elevadas.
- Análisis del impacto nacional: Magnitud nacional del impacto de la eficiencia en el ahorro de energía, la reducción de emisiones y la demanda máxima evitada.
- Análisis del Coste del Ciclo de Vida (ACCV): Evaluación de los costes y beneficios de adquirir una nueva unidad de AA con mayor eficiencia y coste. El ACCV es una metodología de evaluación económica que determina el coste total de adquisición y funcionamiento de un aire acondicionado a lo largo de su vida útil.

La sección 2 presenta información general sobre el Ecuador, incluyendo la geografía y el clima; una visión general al sistema eléctrico; y una estimación del consumo de energía de enfriamiento en el sector residencial. La sección 3 presenta las fuentes y los resultados del estudio de mercado de AA, así como una línea de base de eficiencia energética para los AA en el Ecuador. La sección 4 presenta las proyecciones, el análisis del uso de la energía y las emisiones relacionadas, junto con los resultados del impacto del ACCV de las NEEM más estrictas. La sección 5 presenta un plan de implementación para los nuevos NEEM propuestos. La sección 6 presenta las conclusiones y recomendaciones.

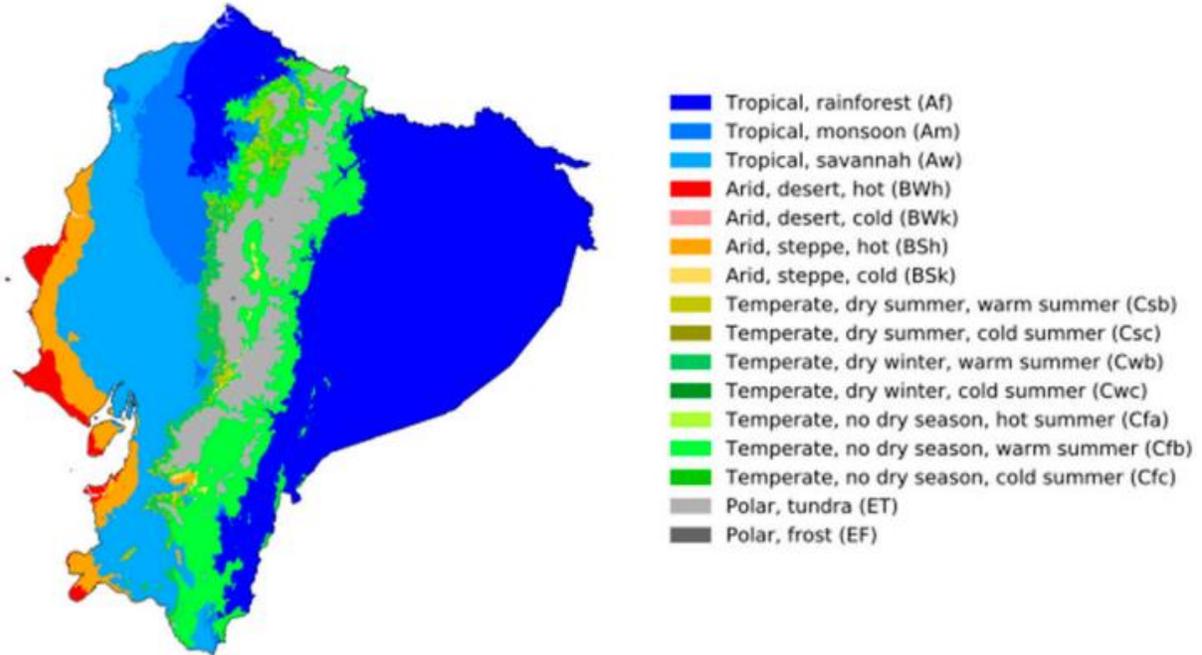
2. Antecedentes

2.1 Geografía y clima del Ecuador

La figura 2 presenta el mapa climático de Köppen-Geiger para Ecuador (sin las islas Galápagos) (Beck, et al., 2018). Muestra que existe una clara división del territorio ecuatoriano entre tres regiones climáticas. La región costera, o región Litoral, consiste principalmente en una variedad de terrenos tropicales, con algunas zonas cálido-áridas. La franja central de color verde y gris corresponde a la región interandina o Sierra y se distribuye entre los climas templado y polar. Por último, la zona de la derecha en color azul es

la región Amazónica, formada predominantemente por clima de selva tropical en la clasificación climática de Köppen-Geiger.

Figura 2. Mapa de clasificación climática de Köppen-Geiger para el Ecuador (1980-2016).



Fuente: (Beck, et al., 2018)

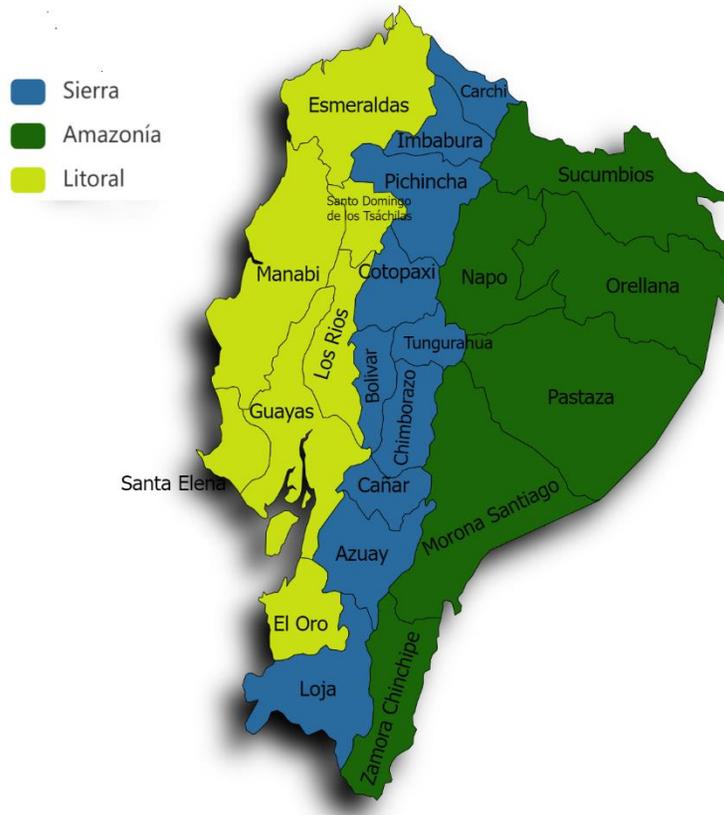
Tabla 1 .Clasificación de las provincias ecuatorianas por regiones climáticas.

Región climática	Provincia	Clima	% Población 2020 ²
Litoral	Esmeraldas, Manabí, Santo Domingo, Los Ríos, Guayas, Santa Elena, El Oro	Tropical y árido cálido	52%
Sierra	Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay, Loja	Templadas y polares	42%
Amazonía	Sucumbíos, Napo Orellana, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe	Selva tropical	6%

La Tabla 1 y la Figura 3 presentan la clasificación de regiones climáticas utilizada en este trabajo. Con base en la información de la Figura 2, se consideró el tipo de clima principal para asignar cada provincia en una de las tres categorías climáticas de la Tabla 1. Como se muestra en la Tabla 1, el 52% de la población ecuatoriana vive en la región Litoral, y el 58% de la población vive en un clima tropical.

² Fuente: (INEC 2012)

Figura 3. Mapa de las provincias ecuatorianas por regiones climáticas.

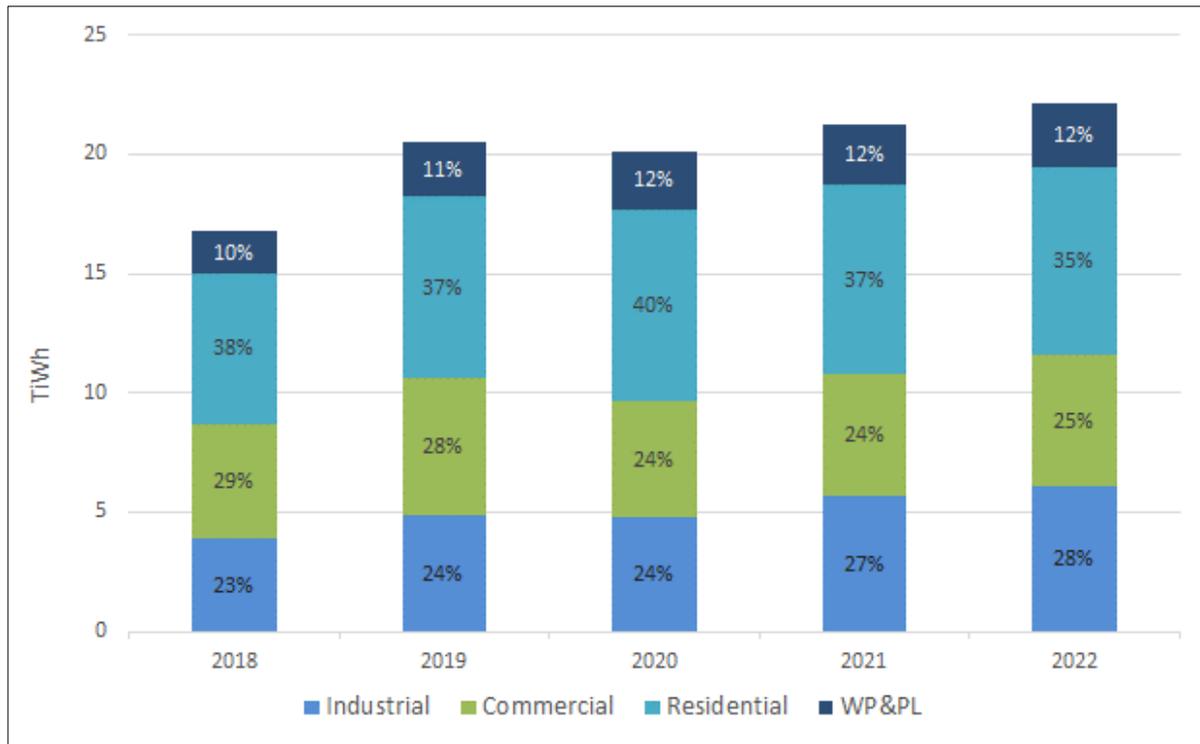


Fuente: Elaboración propia con herramienta en línea (Paint Maps, 2023)

2.2 Panorama del sistema eléctrico ecuatoriano

La Figura 4 presenta el consumo de electricidad por sectores en el Ecuador entre 2018 y 2022, mostrando el consumo de los sectores industrial, comercial, residencial y de Bombeo de Agua y Alumbrado Público (BAP y ALP). El mayor consumidor de electricidad en el Ecuador es el sector residencial, que representó el 35% del consumo total en 2022 (ARCERNNR, 2022-2). Juntos, los sectores comercial y residencial (el sector de edificios) representaron el 60% en 2022. Por ello, la política de eficiencia energética en el sector de edificios es de especial interés en un país como el Ecuador. Enfocarse en este sector representará un alto potencial de ahorro de electricidad, contribuyendo a la reducción del consumo nacional de electricidad con mayor impacto.

Figura 4. Consumo de electricidad por sectores en el Ecuador de 2018 a 2022³.



Fuente: (ARCERNNR, 2022-2)

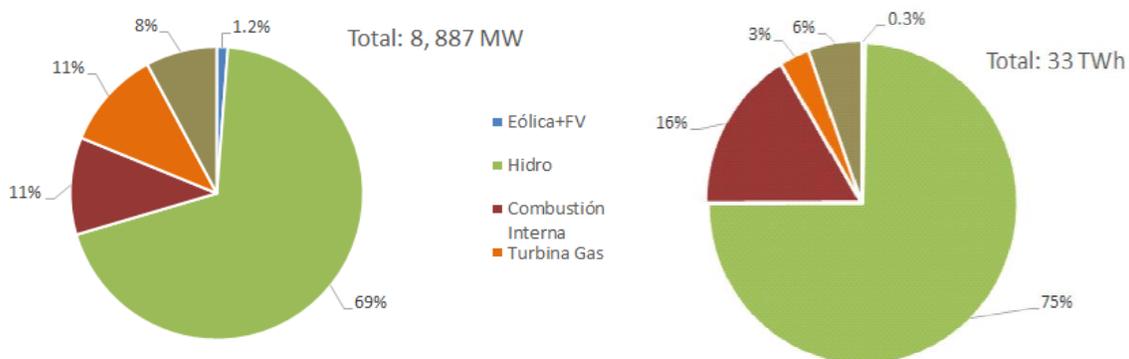
La Figura 5 presenta la capacidad instalada de generación de electricidad y la producción bruta de electricidad por tipo de tecnología de generación para Ecuador en 2022. Casi el 60% de la capacidad instalada procede de centrales hidroeléctricas, que representan 3/4 de la producción nacional de electricidad. En consecuencia, la electricidad en el Ecuador es relativamente limpia, y también barata, ya que los costes de generación y transmisión y distribución oscilan entre 9¢ USD y 9,2¢ USD por kWh, dependiendo de si se trata de la estación seca o húmeda. La tarifa eléctrica residencial en el Ecuador también es relativamente baja, de unos 9¢ USD/kWh, en comparación con, por ejemplo, Uganda, donde la electricidad también se genera mayoritariamente a partir de energía hidroeléctrica y cuesta casi el doble, unos 17¢ USD/kWh (UMEME, 2023).

La Figura 6 presenta el factor de carbono de la electricidad regional y nacional de 2014 a 2022. El factor de carbono de la electricidad es relativamente bajo en el Ecuador y ha disminuido drásticamente en los últimos años. Pasó de 0,27 toneladas CO₂ /MWh en 2018 a 0,15 toneladas CO₂ /MWh en 2021, una disminución de casi la mitad en 3 años, debido principalmente a las adiciones de potencia en las centrales hidroeléctricas. La región del Litoral tiene un factor de emisiones alto en comparación con el de las regiones de la Amazonía y la Sierra, donde el 99% y el 93% de la electricidad se produce con energía hidroeléctrica, respectivamente. Según datos de (ARCERNNR, 2022-1) el 68% de la electricidad producida en la región Litoral proviene de centrales termoeléctricas y el 26% de centrales hidroeléctricas. El sistema eléctrico ecuatoriano es un sistema frágil, ya que depende en gran medida de la lluvia, lo que puede provocar el aumento de la necesidad de importar electricidad de los países vecinos o, en última instancia,

³ WP&PL: Bombeo de agua y alumbrado público

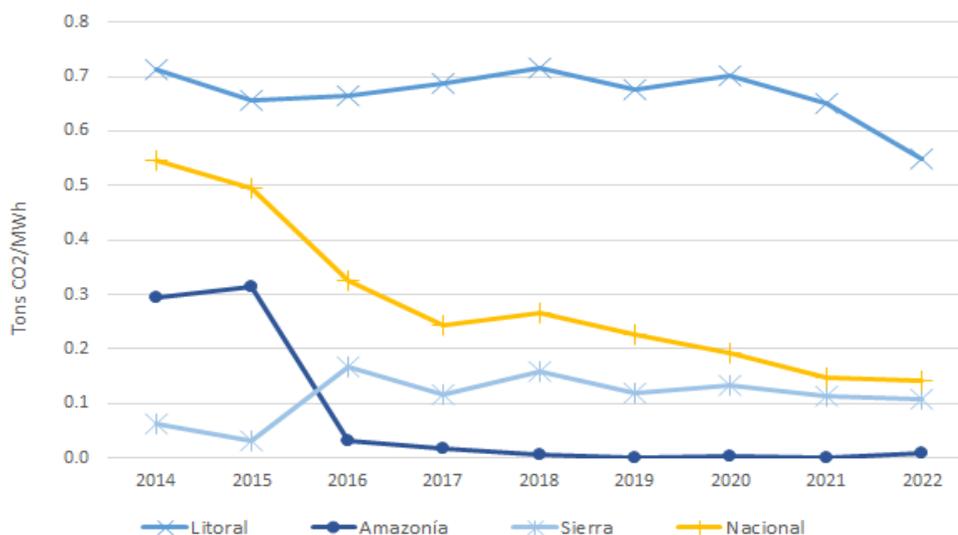
apagones. En 2023, el GdE (Gobierno del Ecuador) estimó que durante la estación seca 2023-2024 (de octubre a marzo), el sistema eléctrico ecuatoriano tendrá un déficit de cerca de 460 MW. Además, el gobierno colombiano no puede suministrar electricidad al Ecuador por las mismas razones climáticas. Al momento de escribir este trabajo, el gobierno ecuatoriano está tratando de solucionar este problema de escasez mediante la activación de plantas térmicas, el aumento de las importaciones de gas y a través de licitaciones internacionales (Orozco, 2023).

Figura 5. Izquierda. Capacidad instalada de generación de electricidad en 2022. Derecha. Producción bruta de electricidad en 2022



Fuente: (ARCERNR, 2022-1)

Figura 6. Factor de emisión de electricidad en el Ecuador de 2014 a 2022.



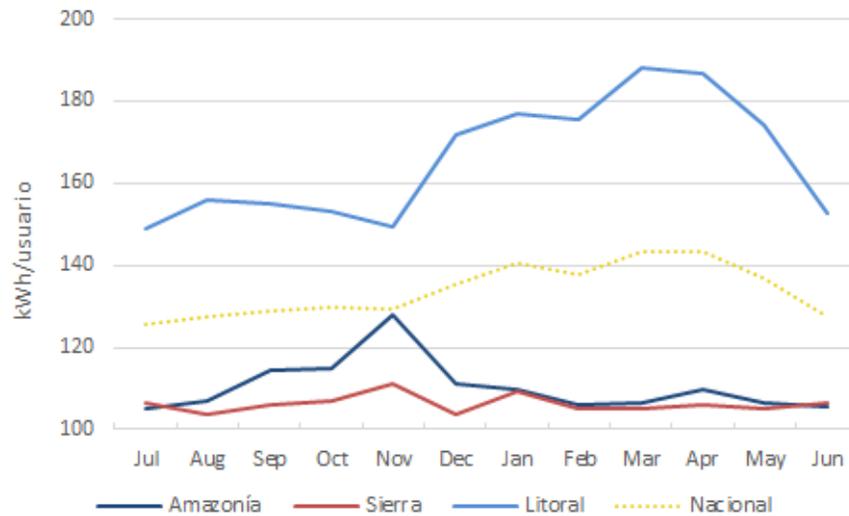
Fuente: Nacional: CENACE, 2022; Regiones: Cálculos propios con datos del CENACE, 2021.

2.3 Consumo de energía y enfriamiento

La figura 7 presenta el consumo mensual de electricidad por cliente en el sector residencial a nivel nacional y por región climática. La primera evidencia del consumo eléctrico por enfriamiento se encuentra con las

tendencias del consumo eléctrico mensual en el transcurso del año. Este estudio se basa en los datos de ventas de electricidad de ARCERNNR, 2022-2. La región Litoral presenta el mayor consumo por cliente de las tres regiones, oscilando entre un 50% y un 75% más. Entre los meses de diciembre y mayo, se observa un pico en el consumo por cliente en la región Litoral, representando hasta un 23% de aumento con respecto a los otros meses. A nivel nacional, este fenómeno se observa a menor escala, representando el pico de hasta un 12% más. El aumento del consumo de electricidad durante los meses más calurosos en la región del Litoral se debe en parte a un aumento del uso de AA. Como primera aproximación, la definición de un consumo de referencia mensual permitiría estimar la carga de enfriamiento en el Ecuador. El consumo eléctrico de referencia se define como la media mensual de consumo eléctrico por cliente en la región de la Sierra; en esta región se supone que no hay necesidad de AA, y el consumo por cliente es bastante estable a lo largo del año.

Figura 7. Consumo medio mensual de electricidad por cliente en el sector residencial en el Ecuador, 2022.



Fuente: (ARCERNNR, 2022-2)

El consumo de base de electricidad de las regiones Litoral y Amazonia se obtiene multiplicando su respectivo número mensual de clientes por la media del consumo mensual de electricidad por cliente en la región de la Sierra. Cabe señalar que, al hacer esto, se supone que los demás parámetros son iguales en todas las regiones (nivel de ingresos, adopción y uso de electrodomésticos). A continuación, la carga de enfriamiento se calcula restando el consumo de referencia al consumo total de electricidad de la región, como se muestra en la ecuación siguiente:

$$\text{Ecuación 1: } \text{Carga de enfriamiento}_i = E^R_i - CR^R_i = E^R_i - \text{Clientes}^R_i \times BA$$

La ecuación anterior presenta la carga de enfriamiento para el i -ésimo mes, donde:

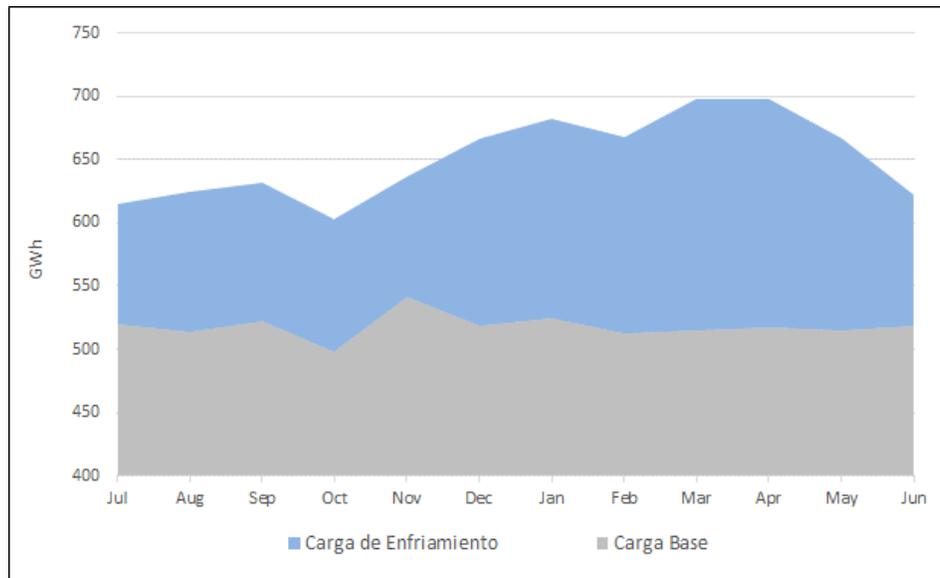
E^R es el consumo de electricidad en la región R ;

CR^R es el consumo de referencia en la región R ;

y BA es la media del consumo mensual de electricidad por cliente en la región de la Sierra.

La Figura 8 muestra los resultados de esta metodología. El consumo de referencia nacional se obtuvo sumando el consumo total de electricidad de la región Sierra y el consumo de referencia de las regiones Litoral y Amazonía. Se estima que la carga de enfriamiento nacional en 2022 fue de unos 1,56 TWh. Para la región Litoral, esto representa en aproximadamente el 36% del consumo eléctrico residencial, llegando en algunos meses hasta representar el 45%.

Figura 8. Estimación de la carga de enfriamiento con metodología Top-Down para el sector residencial en el Ecuador, 2022.



Fuente: Cálculos del autor a partir de datos de (ARCERNR, 2022-2)

2.4 Contexto político

2.4.1 Visión general

El Ecuador ha establecido un amplio marco jurídico y normativo para promover políticas y programas de eficiencia energética. Los componentes más importantes y completos de este marco son el Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE 2016-2035) y la Ley de Eficiencia Energética (Gobierno de Ecuador, 2019).

El marco jurídico y reglamentario vigente en el Ecuador para la adopción de la EE incluye:

- Constitución Nacional (2008) - Indica que el Estado promoverá la eficiencia energética y el desarrollo de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias.
- Plan Nacional de EE (PLANEE 2016-2035) - presenta el plan para adoptar políticas de eficiencia energética en los sectores de transporte, industria, residencial y eléctrico (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017).
- El Decreto Ejecutivo 98(2017) - , ratificación del acuerdo de París, traza una meta incondicional de reducción del 9% de las emisiones de GEI para los sectores energético, industrial, agrícola y de residuos y del 20,9% condicionado a la cooperación internacional.

- Decreto Ejecutivo 371(2018) - , adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible como política pública.
- Ley de Eficiencia Energética (LOEE 2019) - proporciona un marco legal para la operación del Sistema Nacional de EE (SNEE); también ordena el establecimiento del Comité Nacional de EE (CNEE), compuesto por entidades públicas y privadas que representan al gobierno, la industria y la academia.
- Reglamento a Ley Orgánica de EE (2021) - desarrolla el marco normativo para la aplicación de la ley de eficiencia energética.
- Decreto 68 (2022) - ordena alinear las normas nacionales de calidad con las mejores prácticas internacionales para mejorar el sistema de calidad de la nación.

El PLANEE incluye líneas de acción en los ejes Residencial, Comercial y Público. Estos sectores representaban el 60% del consumo total de electricidad en 2022, según datos de ARCERNNR (2022-2). Como parte del plan para enfrentar estos niveles de consumo de energía y electricidad, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) desarrolló mecanismos regulatorios, creó iniciativas tributarias y financieras, y lanzó iniciativas para avanzar en la eficiencia energética en estos sectores. En coordinación con el INEN, el MEM desarrolló 11 normas de eficiencia energética desde 2007 para avanzar en las prácticas de gestión de la energía y la eficiencia energética en la construcción y 23 Reglamentos Técnicos para asegurar la prevalencia de equipos domésticos e industriales de alta eficiencia en el mercado ecuatoriano.

Uno de los programas emblemáticos del eje residencial, comercial y público fue el programa RENOVA para refrigeradores, que consistió en la sustitución de unidades ineficientes por productos nuevos y energéticamente eficientes fabricados en el Ecuador. Según lo informado por PLANEE, durante el período de implementación 2012-2016, el programa logró ahorros de energía del orden de 38.200 MWh por año a través de la sustitución de 95.652 refrigeradores (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017).

Otra iniciativa importante en el marco de la línea de acción PLANEE fue el programa de eficiencia energética para cocinas de inducción y calentamiento eléctrico de agua (PEC), cuyo objetivo era sustituir el uso de gas licuado de petróleo, o propano, por electricidad para cocinar y calentar agua. La ayuda financiera para la adquisición de las cocinas de inducción fue proporcionada por el gobierno para el 80% de las más de medio millón de familias participantes en el programa (a finales de 2016).

En 2015, Ecuador también puso en marcha el programa Asegurando la EE en los sectores Público y Residencial (SECURE), que buscaba aumentar la cuota de mercado de los electrodomésticos eficientes a través de la implementación del mecanismo de la Etiqueta de Máxima Eficiencia Energética (EMEE) establecido para ayudar a los consumidores a identificar los equipos que consumen menos energía. La aplicación de la EMEE corre a cargo del MEM; la participación de los fabricantes o importadores de aparatos es voluntaria. En el caso de los equipos de AA, dada la falta de laboratorios con capacidad para realizar pruebas en el Ecuador para este producto y debido a que no hay fabricación local, el programa se basa en los resultados proporcionados por los laboratorios de origen de las unidades. En todos los casos, las unidades se etiquetan con el nivel máximo de eficiencia energética, que es difícil de certificar.

2.4.2 Marco normativo

El principal instrumento de política para la emisión de normas y reglamentos técnicos es la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad, que declara, como política de Estado, la promoción y demostración de

estándares de calidad como factor clave de productividad, competitividad y desarrollo nacional. Esta ley, emitida en 2007, provee el marco institucional para la organización del Sistema Nacional de Calidad y establece los mecanismos para asegurar el cumplimiento de las normas y aplicar sanciones. El marco institucional consiste en un Consejo Interministerial de Calidad (CIC), integrado por el INEN, el Servicio Ecuatoriano de Acreditación (SAE), el MEM y otros ministerios y coordinado por el MPCEIP, que aprueba anualmente un Plan Nacional de Calidad.

La base para la emisión de Reglamentos Técnicos, que a diferencia de las Normas Técnicas son obligatorias y son determinadas por los organismos gubernamentales pertinentes con el apoyo técnico del INEN, incluye disposiciones de distintos instrumentos jurídicos:

- Constitución de Ecuador (derecho de las personas a recibir bienes y servicios de calidad óptima)
- Resoluciones de la Comisión de la Comunidad Andina (legítimo derecho a dictar normas para defender el interés nacional, pero sin imponer restricciones innecesarias al libre comercio).
- La Ley del Sistema Ecuatoriano de Calidad (que define las responsabilidades del INEN en la formulación de normas y reglamentos y otorga facultades de supervisión al MPCEIP en el proceso de reglamentación).
- El Decreto Ejecutivo 68, un mandato para armonizar la normativa actual con las mejores prácticas internacionales para avanzar en la competitividad y la simplificación de los procedimientos administrativos.

Según lo estipulado en la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad en su Art. 15, inciso a, el INEN es el organismo técnico nacional competente en materia de regulación, normalización y metrología. El MPCEIP es la institución encargada de aprobar los reglamentos técnicos que el INEN elabore a instancias de las entidades competentes de la administración pública (MEM en el caso del reglamento técnico para AA).

El artículo 22 de la Ley del Sistema Ecuatoriano de Calidad establece que el MPCEIP tiene la potestad de emitir procedimientos para evaluar el cumplimiento de los reglamentos técnicos; esto incluye la verificación del cumplimiento mediante la emisión de una "certificación de conformidad" por parte de una entidad debidamente acreditada por SAE para tal fin antes de que el producto (o servicio) regulado sea comercializado en el Ecuador. El MPCEIP, a través de la dirección de control y vigilancia del mercado, realiza inspecciones como parte del proceso de verificación del cumplimiento.

El SAE evalúa la competencia técnica, transparencia e independencia de las entidades dedicadas a la evaluación de la conformidad, garantizando que cumplen con las normas establecidas con base en las prácticas internacionales. A septiembre de 2021, SAE cuenta con 29 organismos acreditados activos en el área de certificación, 74 en el área de inspección y 192 laboratorios. Actualmente, solo hay dos laboratorios acreditados por SAE para realizar ensayos para equipos de corriente alterna: LENOR y SICAL, pero no cuentan con instalaciones de ensayo en el Ecuador, realizando ensayos en otros países.

En este marco político y normativo, la actualización del reglamento técnico vigente para equipos de AA (RTE- INEN-072-EE para AA sin ductos) implica la presentación de una propuesta técnica por parte del MEM al INEN (que debe ser validada por la CNEE como principal organismo interinstitucional coordinador de las políticas de eficiencia energética), la implementación de procesos de revisión técnica y consulta pública con comités técnicos creados por el INEN, y la eventual aprobación y oficialización del reglamento por parte del MPCEIP. A partir de 2023, se ha presentado una propuesta técnica al INEN, pero no se han llevado a cabo más acciones. La propuesta de un nuevo NEEM se basa en una norma de la Comisión

Panamericana de Normas Técnicas (COPANT 1711:2020), y consiste en adoptar la calificación A de dicha norma como un nuevo NEEM.

Tabla 2 . Comparación de las NMEE par AA por países.

País	Métrica de eficiencia	Estándar	NEEM* (Wt/We)	Año	Fuente
Ecuador	EER	ISO 5151	3.20	2017	(INEN, 2017)
Colombia	EER	ISO 5151	3.00	2022	(Ministerio de Minas y Energía, 2021)
Perú	SEER	UNE-EN 15218	3.01	2018	(Ministerio de Energía y Minas, 2018)
Brasil	EER	ISO 5151	3.02	2018	(Augustus de Melo, Borges Cunha y Santiago Suárez, 2022)
Argentina	SEER	ISO 5151	3.39	2019	(IRAM, 2019)
México	SEER	AHRI 210/240	3.28	2018	(SEGOB, 2018)
Chile	EER	ISO 5151	3.20	2018	(Ministerio de Energía, 2018)
COPANT	SEER	COPANT 1711	3.6**	2017	(INEN, 2023)
China	SEER	GB 21455-2019	3.7	2020	(Karali, et al., 2020)
EE.UU.	SEER	AHRI 210/240	3.93	2023	(USDOE, 2023)
UE	SEER	EN 14825	4.60	2014	(Karali, et al., 2020)

**Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT): el valor corresponde a la clasificación A.

La Tabla 2 presenta una comparación de los niveles de eficiencia energética en determinados países/regiones. A nivel regional, Ecuador se encuentra en el extremo superior de la eficiencia energética mínima para los AA, y casi todos los países, excepto Perú, utilizan el sistema métrico EER. Argentina representa la mejor práctica regional, ya que utiliza la medida SEER con los niveles más altos de eficiencia. Estados Unidos y la Unión Europea representan un mercado de AA de alta eficiencia: utilizan métricas estacionales y tienen elevados requisitos mínimos de eficiencia energética para los AA. Estos NEEM son entre un 30% y un 45% superiores a los NEEM de Ecuador. Idealmente, el objetivo sería situar los NEEM ecuatorianos de AA en los niveles de eficiencia energética de la Unión Europea. Un salto tan grande en la eficiencia energética es poco realista de lograr en un solo paso. Las actividades de asistencia técnica propuestas apoyan el primer paso hacia este objetivo a más largo plazo.

3. Mercado del aire acondicionado en el Ecuador

Esta sección presenta los resultados del estudio del mercado ecuatoriano de AA realizado para este informe. Presenta información sobre el stock actual de AA, la propiedad de AA, la distribución geográfica del uso de AA, la cuota de mercado por marca, tamaño y tipo, y los niveles de eficiencia energética.

3.1 Fuentes de información

ENCUESTAS NACIONALES

Este trabajo se basa en gran medida en las encuestas residenciales nacionales realizadas en 2011, 2012, 2019 y 2020 por el INEC (2011, 2012, 2020 y 2021). Se puede encontrar información sobre el equipamiento de los hogares, y específicamente la propiedad de AA en los hogares. Además, para los años 2011, 2019 y 2020, también se tiene el número total de AA en los hogares. La encuesta de 2011 es una encuesta sobre los ingresos en los hogares, que incluye información sobre la propiedad de AA. Esto proporciona un enlace entre ingresos y tasa de propiedad para cada hogar de la encuesta que permite establecer una distribución de la propiedad de AA en función nivel de ingresos (apartado 4.2.1).

IMPORTAR DATOS

Los datos de importación de la aduana se obtuvieron a través de una empresa de estudios de mercado. Los equipos de AA se clasifican en los números arancelarios 8415.10.10⁴ y 8415.82.20⁵, según el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE-072 (INEN, 2017). La depuración de los datos fue necesaria ya que existen productos que no son equipos de AA que entran en esas categorías (es decir, motores, compresores de aire, ventiladores, refacciones para AA y otros). Las partes interiores (evaporador) y exteriores (condensador) del equipo suelen figurar por separado y fue necesario identificarlas como una sola unidad. Esta circunstancia se ha tenido en cuenta a la hora de calcular el número de AA importados. Los datos de importación también ofrecen información sobre las marcas comercializadas, el nombre del fabricante, la empresa importadora y el país de origen. Los datos de importación están disponibles desde 2015 hasta 2022.

MINORISTAS ESTUDIOS DE MERCADO

LBNL realizó un análisis de mercado entre febrero y marzo de 2023, visitando los sitios web de los minoristas más populares del Ecuador (Mercado Libre, 2023; MARCIMEX, 2023; Artefacta, 2023; Créditos Económicos, 2023; Gran Hogar, 2023; Importadora Castro, 2023). Se recopiló información relevante para este estudio, como la distribución de capacidades, tipos de AA (convencional o inverter), número de

⁴ "Máquinas acondicionadoras de aire, que comprendan ventiladores accionados por motor y elementos para modificar la temperatura y la humedad, incluidas aquellas máquinas en las que la humedad no pueda regularse por separado."

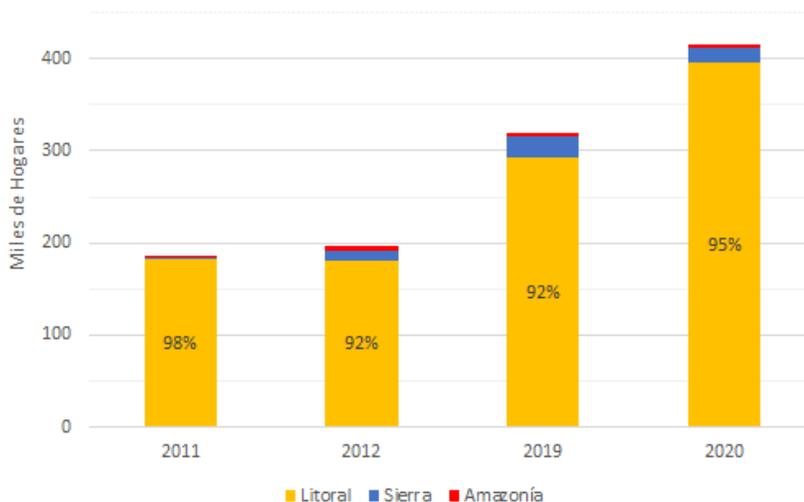
⁵ "Máquinas de acondicionamiento de aire que incorporen una unidad frigorífica pero sin válvula de inversión del ciclo frío-calor (excluidas las del tipo utilizado para personas en vehículos de motor y las máquinas de acondicionamiento de aire autónomas o de "sistema partido" de ventana o de pared)"

modelo, nivel de eficiencia energética y precios asociados. Se recopiló un total de 156 puntos de datos en los emplazamientos mencionados.

3.2 Mercado actual de AA en el Ecuador

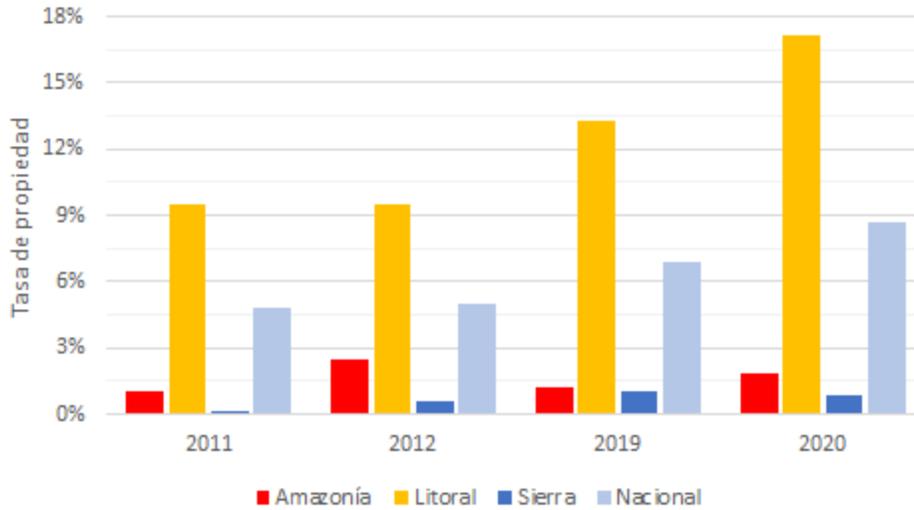
La tasa de propiedad de AA en el sector residencial se obtiene directamente de las encuestas nacionales de los años 2011, 2012, 2019 y 2020. La figura 9 muestra el número de hogares que poseen al menos un aparato de aire acondicionado por zonas climáticas. En el periodo de 9 años para el que se dispone de datos, la tasa de hogares con AA se ha más que duplicado. Los porcentajes indicados en esta figura corresponden a la proporción de hogares que poseen un aparato de aire acondicionado en la región del Litoral, lo que implica que más del 90% de los usuarios de aire acondicionado se encuentran en la región del Litoral, que es la zona climática más cálida del país. La Figura 10 muestra la tasa de propiedad de aire acondicionado en las distintas zonas climáticas y a escala nacional. La mayor tasa de propiedad de AA se observa en el Litoral, donde ha pasado de alrededor del 9,5% a aproximadamente el 17%, con un aumento de más del 80% en 9 años. En consecuencia, la tasa nacional de propiedad de AA también ha experimentado un aumento, pero sigue siendo relativamente baja, por debajo del 9% en 2020, porque sólo el 52% de los hogares ecuatorianos se encuentran en la región del Litoral. Las figuras 9 y 10 muestran que el consumo de energía de las AA en el Ecuador se concentra en la región del Litoral, donde vive la mayoría de la población ecuatoriana y donde se encuentran la mayoría de los AA. Las cifras también muestran el rápido crecimiento de los usuarios de AA en los últimos 9 años, que se ha más que duplicado.

Figura 9. Número de hogares que poseen una unidad de aire acondicionado en el Ecuador por zona climática.



Fuente : INEC, 2011; INEC, 2012; INEC, 2020; INEC, 2021

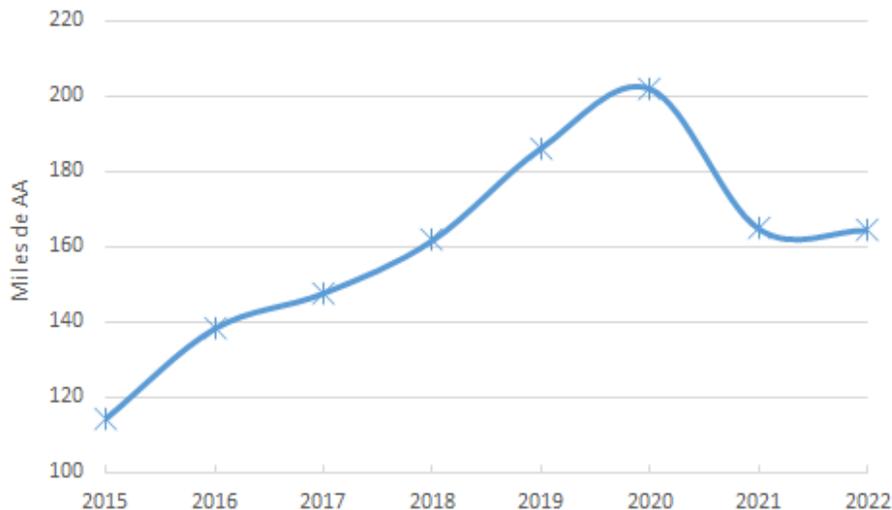
Figura 10. Tasa de propiedad de AA para el sector residencial en el Ecuador.



Fuente : INEC, 2011; INEC, 2012; INEC, 2020; INEC, 2021

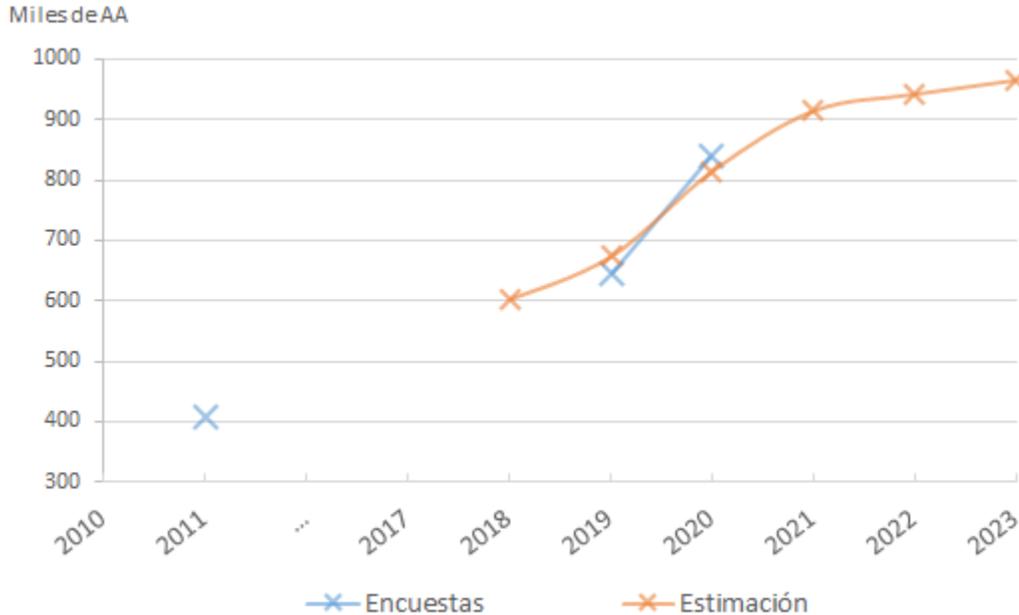
La figura 11 muestra el número total de AA importados. De 2015 a 2020, las importaciones de AA crecieron a un ritmo del 12% anual, casi duplicándose en 5 años. Debido a la crisis del COVID, la inercia del crecimiento de las importaciones se interrumpió, y las importaciones cayeron drásticamente en 2021 y 2022 hasta los niveles de 2018.

Figura 11. Importaciones de AA de 2015 a 2022



El stock de AA (número total de unidades de AA) en el sector residencial se recopiló a partir de las encuestas nacionales para los años 2019 y 2020. Dado que los aparatos de aire acondicionado se utilizan tanto en el sector residencial como en el comercial, para estimar el stock de aparatos de aire acondicionado se asumió que la distribución de la propiedad de aparatos de aire acondicionado entre los sectores residencial y comercial es del 70 % y el 30 %, respectivamente (McNeil y Díaz, 2019).

Figura 12. Stock de AA en el Ecuador de 2011 a 2023



La figura 12 muestra el stock total de AA en el Ecuador. Los datos proceden de las encuestas nacionales y se ha considerado una cuota de mercado residencial del 70% (azul). Las estimaciones del stock de AA se presentan en naranja. Estas estimaciones preliminares se realizaron utilizando un modelo de rotación de existencias que considera una tasa de renovación constante del 15% y combina datos de encuestas (existencias de AA) y ventas/importaciones anuales de AA⁶. Se trata de un modelo de contabilidad de existencias diferente y más sencillo que el presentado en el apartado 4.2.4. Como los datos de existencias de AA solo están disponibles para 2019 y 2020, esta metodología se utilizó aquí para extrapolar las existencias de AA en el Ecuador para los años más recientes. Las encuestas indican que, entre 2011 y 2021, el stock de AA más que duplicó su tamaño. Las estimaciones indican que entre 2018 y 2023, el stock de AA aumentó en un 60%. Entre 2019 y 2020 la tasa de incremento es significativamente mayor (21%) que otros años. Esto se debe a una tasa de aumento también superior de las importaciones de AA (15%) en 2019. Este efecto se observa hasta 2020, ya que las importaciones de un año representan las existencias de AA del año siguiente. En cuanto a la información procedente de encuestas, guarda cierta correlación con los valores estimados, registrando un aumento superior del 30%. Entre 2021 y 2023, la curva del stock de AA se aplatina, ya que las importaciones disminuyen drásticamente (véase la Figura 11).

Como se ve en la Figura 10, la tasa de propiedad nacional es inferior al 10% y, en el Litoral, se sitúa en torno al 17%. Incluso para el Litoral, el 17% está lejos de ser un mercado saturado, ya que (Mcneil y Letschert, 2007) han demostrado que la tasa de propiedad de AA está correlacionada con los ingresos y las condiciones climáticas y teóricamente si los ingresos aumentan lo suficiente, se podría alcanzar los niveles de Estados Unidos (88%) (EIA, 2020). Esto sugiere que la propiedad de AA podría experimentar un aumento acelerado en los próximos años en el Ecuador.

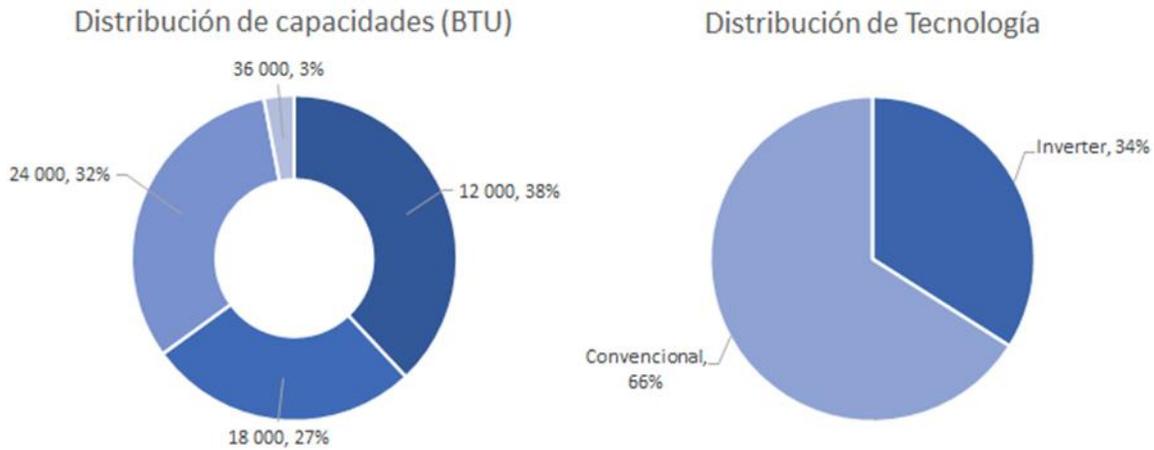
⁶ No hay producción de equipos de aire acondicionado en el Ecuador. En este caso, se supone que las importaciones anuales equivalen a las ventas anuales.

3.3 Eficiencia energética y mercado de AA en el Ecuador

La Tabla 3 presenta las 11 marcas predominantes identificadas por el estudio de mercado en línea. TCL, Midea y RCA son las marcas más comunes, con cuotas de mercado del 30%, 19% y 16%, respectivamente. El 80% de la cuota de mercado está dominado por marcas chinas, y el 20% restante por marcas de otros países, a pesar de que el 95% de los aparatos de aire acondicionado se fabrican en China (según el puerto de embarque de los datos de importación). Los datos de eficiencia energética se obtuvieron buscando en los manuales del propietario, manuales técnicos, etiquetas de eficiencia o directamente en la página web del minorista. Sin embargo, no siempre fue posible encontrarlos. La tabla 3 muestra los niveles de eficiencia energética conocidos de los equipos convencionales, que representan el 55% de la cuota de mercado total. En la Tabla 3 solo se muestran los equipos convencionales, ya que los modelos inverter cumplen la normativa ecuatoriana vigente de 3,2 W/W (INEN, 2017). La tabla presenta promedios generales en todas las capacidades dentro de la marca, categorizadas en marcas chinas y marcas de otros países. Como puede observarse, los niveles medios de eficiencia energética de las marcas chinas (3,08 W/W, que representan el 59% de la cuota de mercado china) son significativamente inferiores en comparación con otras marcas (3,23 W/W, que representan el 40% de la cuota de mercado de otras marcas), y la media ponderada está por debajo del nivel de 3,2 W/W establecido por la normativa ecuatoriana (INEN, 2017). Además, la media ponderada de todas las marcas con datos disponibles no alcanza los niveles mínimos requeridos.

Dado no se encontró información sobre la eficiencia energética de varios modelos/marcas de AA, las eficiencias energéticas de las marcas chinas y de las otras marcas se agruparon en dos categorías principales; a la parte de los modelos sin datos se le asignó la eficiencia media ponderada de los demás modelos de ese grupo (véase la tabla 3). El EER resultante por aparato puede consultarse en Tabla 22 del anexo. A partir de los datos recopilados, se estimó el número de AA en el mercado ecuatoriano y en stock de AA instalados que no cumplen con los NEEM ecuatorianos actuales. Se encontró que en 2022, aproximadamente 470.000 AA instalados estaban por debajo de la normativa de eficiencia energética, lo que representa el 47% del stock total de AA. Asumiendo que todos los AA inverter cumplen la norma, esto implica que el 67% de todos los AA convencionales en 2022 la incumplen. En otras palabras, casi la mitad del stock ecuatoriano de AA incumple la normativa actual de eficiencia energética, y dos tercios de los AA convencionales la incumplen (véase la tabla 3).

Figura 13. Distribución de la capacidad de enfriamiento y del tipo de tecnología para el mercado de AA en el Ecuador



Como puede verse en la Figura 13, la capacidad de enfriamiento más común de los AA vendidos en el Ecuador es de 12.000 BTU, que representa aproximadamente el 38%, seguida de la de 24.000 BTU, con cerca de un tercio del mercado. Las unidades de 18.000 BTU tienen aproximadamente una cuota del 27%; las unidades de 36.000 BTU tienen una cuota del 3%. Aproximadamente un tercio de las unidades son inverter y dos tercios son AA convencionales.

Tabla 3. Niveles de eficiencia energética y cuota de mercado por marcas de equipos convencionales de AA en el Ecuador.

	Marca	Nivel EER (W/W)	Cuota de mercado	
Marcas chinas	TCL	2.97	30%	80%
	Midea		19%	
	RCA	3.24	16%	
	Hisense		9%	
	Chigo		5%	
	Innovair	2.89	1%	
	Media ponderada	3.08		
Otras marcas	LG		9%	20%
	Samsung	3.21	4%	
	Electrolux		3%	
	Mabe	3.28	3%	
	Panasonic	3.21	1%	
	Media ponderada	3.24		
Media ponderada		3.10		

* Las medias ponderadas se basan en el número total de aparatos de aire acondicionado por tipo y marca.

4. Consumo de energía de AA y emisiones de CO₂ relacionadas en el Ecuador

4.1 Consumo actual de energía y emisiones de GEI

Para calcular el Consumo Unitario de Energía (UEC por sus siglas en inglés) medio de los AA en el Ecuador y modelar el impacto de las normativas de eficiencia energética, el mercado se divide en los segmentos descritos en la Figura 14. La Figura 14 muestra el proceso de desagregación del stock total de AA en número de AA por marca, tipo y capacidad. La Figura 14 muestra el proceso de desagregación el stock total de AA del número de AA por marca, tipo y capacidad de enfriamiento. Las distribuciones mostradas en azul se obtuvieron de las fuentes de datos presentadas en la Sección 3. En la Tabla 20 del anexo se ofrece información detallada.

La diferencia entre los tipos de tecnología de AA radica en la respuesta a las variaciones climáticas estacionales. Estas variaciones representan las demandas fluctuantes de una temporada de enfriamiento. Durante los periodos de calor moderado y necesidades de enfriamiento menos extremas, el funcionamiento de los AA con inverter en comparación con los convencionales adquiere relevancia. Los AA convencionales, a menudo denominados de velocidad fija, funcionan a plena capacidad cuando se encienden, apagándose una vez alcanzada la temperatura deseada y reiniciando el ciclo cuando el termostato lo activa. Por el contrario, los AA con inverter tienen la capacidad de modular la capacidad a la que funcionan. En consecuencia, durante los periodos en los que no hay necesidades extremas de enfriamiento, los AA convencionales funcionan a su máxima capacidad, mientras que los AA inverter funcionan a una fracción de su capacidad máxima, lo que pone de manifiesto su menor consumo de energía y su adaptabilidad. Por este motivo, la medida de eficiencia energética SEER, que incorpora las variaciones estacionales, resulta ser una métrica de eficiencia energética más realista para los AA en comparación con la EER. Con la medida SEER, las respuestas a las variaciones climáticas estacionales entre los dos tipos de tecnología se modelan con mayor precisión, revelando una mayor disparidad en la eficiencia entre los inverter y los AA convencionales que la observada con la medida EER. A partir de ahora, se utilizará la medida SEER y se ha empleado la siguiente ecuación para convertir de unidades EER a unidades SEER (Karali, et al., 2020):

$$\text{Ecuación 2: } SEER = 1.012 \times EER$$

El UEC anual para enfriamiento puede modelizarse como una función log-lineal del grado de eficiencia energética, tal como se utiliza en (Karali, et al., 2020). Como en el artículo mencionado se trabaja con una medida de eficiencia energética diferente a la del presente trabajo, la idea se toma utilizando datos recopilados de (Letschert, et al., 2023) y una herramienta en línea (AFUE Calculator, 2023). Estos datos relacionan la clasificación SEER de las AA y el UEC. Los UEC obtenidos de (Letschert, et al., 2023) se ajustaron a las horas anuales (1.095 horas) de funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado en el Ecuador, como se indica en (Porras, Arnaldo, Soriano y Ramírez, 2023). El UEC se estima mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3: $UEC = (-0.0744 \times \ln(SEER) + 0.2784) \times CC$

En esta ecuación, SEER se expresa en (BTU/h), y CC es la capacidad de enfriamiento en BTU/h. El SEER por aparato puede consultarse en la tabla 21 (véase el anexo). La ecuación 3 corresponde a la UEC de los aparatos de AA en la región Litoral y Amazónica. Para la región de la Sierra, como el máximo climático (definido más adelante en la sección 4.2.1) es un tercio del máximo climático de la región del Litoral, el UEC de la región de la Sierra se estima como un tercio del UEC de la región del Litoral. El Consumo total de Electricidad (CE) relacionado con el uso de enfriamiento se obtiene multiplicando el número de AA (por marca, tipo, capacidad y región) por su respectivo UEC, es decir:

Ecuación 4: $CE = \sum_{b,t,c,r} \#AA_{b t c r} \times UEC_{b t c r}$

Donde CE es el consumo eléctrico total de AA y #AA es el número de AA. Los subíndices b, t, c y r representan la marca, el tipo, la capacidad y la región, respectivamente.

Figura 14. Diagrama de la metodología de desagregación para el número total de AA.

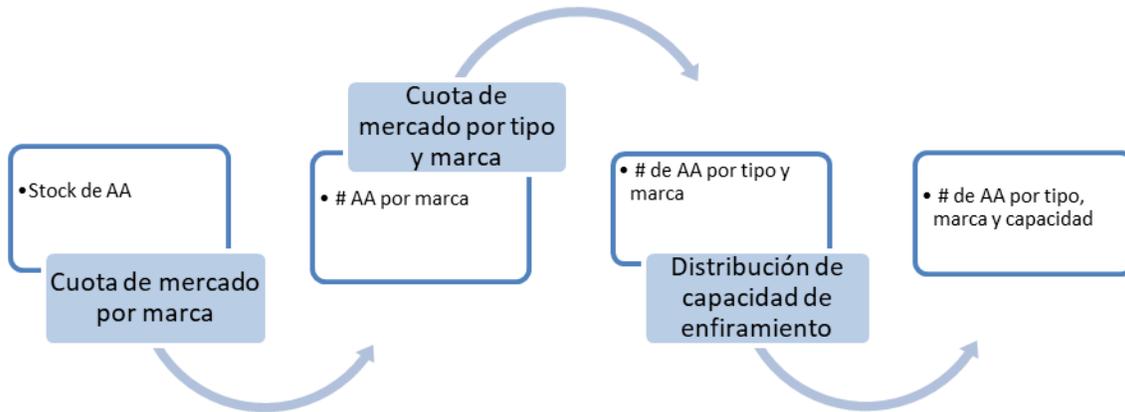


Tabla 4. Resultados UEC para el escenario BAU (kWh/año).

Capacidad (BTU)	Convencional	Inverter
12,000	1.101	863
18,000	1.688	1.355
24,000	2.257	1.756
36,000	3.342	2.788

La Figura 15 muestra los resultados de la estimación del consumo de electricidad debido al uso de AA en el Ecuador de 2018 a 2022. Los resultados se basan en el stock de AA presentado en la Figura 12. En 2022, el consumo de electricidad debido al uso de AA en el Ecuador se estimó en torno a 1,63 TWh. Para el sector residencial, esto equivaldría a 1,14 TWh de consumo eléctrico, lo que representa alrededor del 15%

del uso residencial nacional de electricidad en ese mismo año. El uso residencial de electricidad sólo en la región del Litoral alcanza aproximadamente el 26%, lo que representa una gran parte del sector de mayor consumo eléctrico del país.

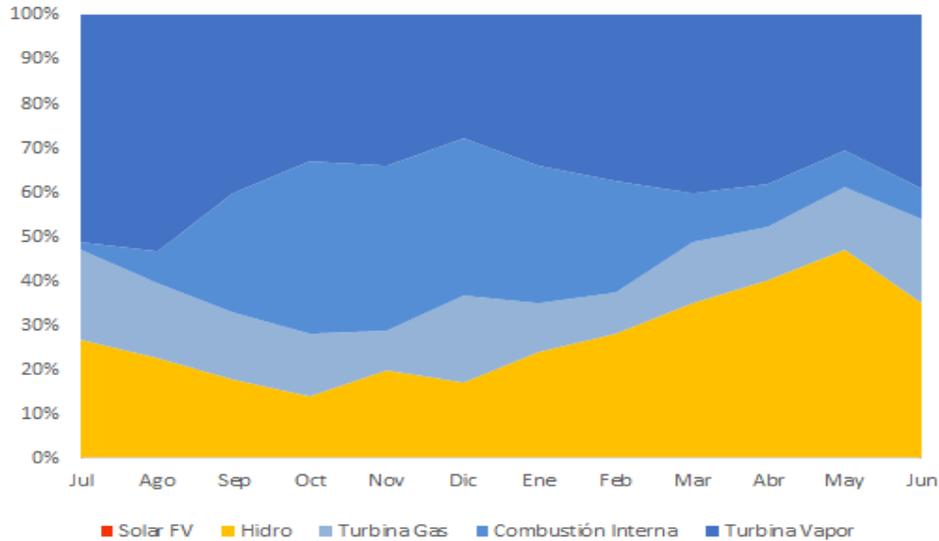
Figura 15. Uso de electricidad de AA y emisiones de CO₂ relacionadas en el Ecuador de 2018 a 2022

La Figura 15 muestra las emisiones de CO₂ debidas al uso de AA en el Ecuador entre 2018 y 2022. A pesar de una disminución del 13% de las emisiones entre 2021 y 2022, las estimaciones indican que entre 2018 y 2022 las emisiones tuvieron un aumento de alrededor del 20%.

La figura 16 muestra la participación en la generación bruta de electricidad por tipo de tecnología en la región del Litoral en 2022. Donde PV, ICM, GT y ST son acrónimos de fotovoltaica, motor de combustión interna, turbina de gas y turbina de vapor, respectivamente. Como puede observarse, entre los meses de diciembre y mayo se observa un aumento de la producción de electricidad a partir de centrales hidroeléctricas. Esto demuestra que el pico de consumo de electricidad coincide con la temporada en la que la energía hidroeléctrica tiene más actividad, lo que revela una fuerte dependencia de esta fuente de energía para ayudar a cubrir la temporada alta de consumo. Sin embargo, las centrales termoeléctricas siguieron representando más de la mitad de la producción de electricidad durante 2022. Estas centrales termoeléctricas se alimentan principalmente de gas natural y biogás (43% combinados) y fuelóleo (44%). Por este motivo, es importante distinguir entre la generación de electricidad dentro de las distintas regiones climáticas. Se ha calculado un factor de carbono de la electricidad para cada región climática siguiendo la metodología utilizada en CENACE, 2022. Los resultados para la región litoral se muestran en la Tabla 4. Como puede observarse, el factor de carbono de la electricidad nacional sigue siendo relativamente bajo, mientras que el factor de carbono de la región Litoral es 3,5 veces superior.

Al calcular las emisiones de CO₂ derivadas del uso de la electricidad, deben tenerse en cuenta las pérdidas de transmisión y distribución (T&D), especialmente en un país como Ecuador, donde las pérdidas totales ascienden hasta el 26% en algunos casos (ARCERNNR, 2023). Según datos de (ARCERNNR, 2022-2), más del 99% de la electricidad de la región Litoral es vendida por la empresa CNEL. Por lo tanto, se supone que las pérdidas de T&D para la región Litoral son las mismas que en la empresa CNEL. Se supone que las regiones Amazonía y Sierra tienen el mismo índice de pérdidas de T&D que la empresa de eficiencia energética. Los valores se tomaron de (ARCERNNR, 2023) y se muestran en la Tabla 4.

Figura 16. Participación mensual en la generación en la generación bruta de electricidad por tipo de tecnología en la región del Litoral, 2022.



Fuente: (ARCERNNR, 2022-1)

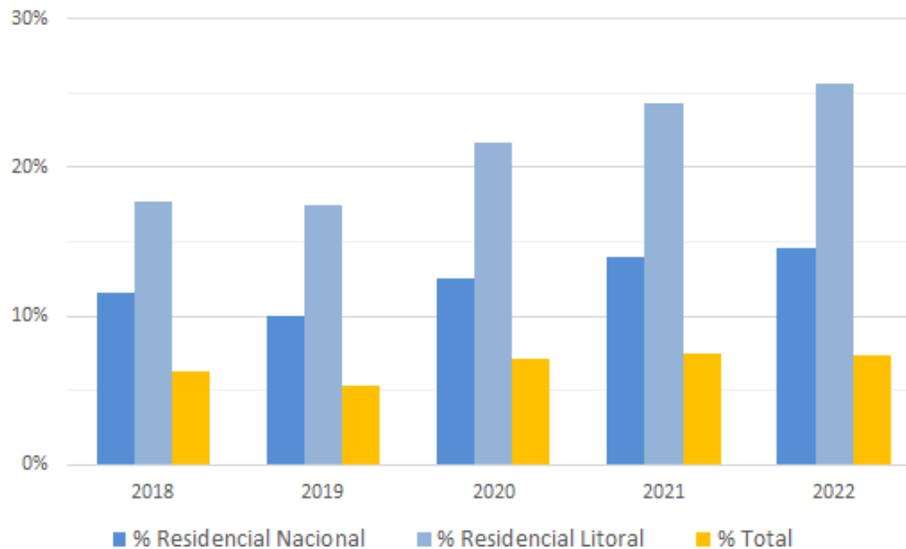
Tabla 5. Resultados del factor de carbono eléctrico y pérdidas de transmisión y distribución por región climática en el Ecuador, 2022

Región climática	Factor de carbono* (Toneladas CO ₂ /MWh)	Pérdidas en T+D
Litoral	0.522	16.7%
Amazon	0.007	6.9%
Sierra	0.113	6.9%
Nacional	0.143	13.3%

Fuente: *Cálculos del autor con datos de (ARCERNNR, 2022-1; CENACE, 2022)

La Figura 17 muestra la evolución en el tiempo de la cuota de electricidad procedente del uso de AA en comparación con el total del sector residencial nacional, con el sector residencial de la región Litoral y con el consumo eléctrico nacional total. De 2018 a 2022, la cuota de consumo eléctrico procedente del uso de AA en comparación con el uso residencial de electricidad en la región del Litoral creció del 18% al 26%, lo que supone un aumento del 45%. En comparación con el consumo eléctrico del sector residencial nacional, se observa un crecimiento del 26%, pasando del 12% en 2018 al 15% en 2022. En 2022 el uso de electricidad procedente de AA representaba el 7% del consumo nacional de electricidad, lo que pone de manifiesto la parte importante que representa el consumo de electricidad procedente de AA en el sector residencial, especialmente en la región Litoral.

Figura 17. Porcentaje de consumo eléctrico de AA en comparación con el consumo eléctrico residencial, residencial del litoral y total nacional.



4.2 Métodos de previsión y análisis energético

4.2.1 Modelo de difusión

El LBNL desarrolló un Sistema de Modelización de Análisis de Políticas (PAMS por sus siglas en inglés) (PAMS, 2007), una herramienta que combina un enfoque de abajo hacia arriba “bottom-up” y modelos econométricos basados en variables climáticas y en el ingreso de los hogares. Esto permite evaluar una nueva NEEM y cuantificar sus impactos en el sector residencial desde la perspectiva del consumidor. Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en estudios similares y por diferentes actores, por organismos gubernamentales como en Chile (Ministerio de Energía, 2017), organismos internacionales como el PNUMA para América Latina y el Caribe, y por investigadores académicos para la ciudad de Guayaquil, Ecuador (Porras, Arnaldo, Soriano, & Ramírez, 2023), y en el resto del mundo (Hitchin, Pout, & Riviere, 2013) (Li, Fei, Zhang, & Qin, 2019). En concreto, esta metodología relaciona el nivel de ingresos y una variable climática con la tasa de propiedad de AA en los hogares a través de una función logística tal y como muestran (Mcneil y Letschert, 2007). Como variable climática se considera el máximo climático $CMax(CDD)$ que representa el nivel máximo de saturación. El máximo climático se calcula en función de los grados-día de enfriamiento (CDD por sus siglas en inglés)⁷. La tasa de propiedad residencial de AA o difusión de AA en el sector residencial en función del ingreso (I) se describe mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 5: } Diff(I) = \frac{CMax}{1 + \gamma e^{-\beta I}}$$

⁷ $CMax(CDD) = 0,994 - 1,17 \times \exp(-0,00298 \times CDD)$ (McNeil, Letschert y Van Buskirk 2007)

En donde $Diff$ es la tasa de propiedad de AA, I son los ingresos mensuales, y β y γ son los parámetros a calcular para cada región climática.

Los datos para realizar la regresión logística provienen de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) de 2011-2012 (INEC, 2011). Se utilizó porque es la única fuente de datos disponible que permite vincular la tasa de propiedad de AA y el nivel de ingresos en el Ecuador. Los datos permiten analizar las tres regiones climáticas por separado, a pesar de que más del 94% de los AA se encuentran en la región Litoral. Los datos se agrupan por ingresos, en grupos de 50 USD. A continuación, se calcula la propiedad de los AA dentro de cada grupo. Se excluyen los grupos con ingresos nulos o propiedad nula; sólo se tienen en cuenta los ingresos inferiores a 10.000 USD al mes. Los datos muestran que el 95% de los hogares tienen ingresos mensuales de 2.000 USD o menos. El modelo de regresión debe reflejar este hecho y conceder más importancia a esos puntos de datos. Por lo tanto, se realizó una regresión logística utilizando una metodología de mínimos cuadrados ponderados y la herramienta *so/ver* del programa informático Excel siguiendo la relación establecida en la ecuación 4. Las ponderaciones consideradas fueron el número total de hogares de cada grupo de ingresos.

La Figura 18 presenta los resultados de la regresión logística para cada región climática. En comparación con las regiones del Amazonía y el Litoral, la región del Sierra tiene una cantidad muy pequeña de CDD, lo que se traduce en una baja respuesta de la tasa propiedad de AA al nivel de ingresos. Como era de esperar, la región del Litoral presenta la saturación de mercado más rápida, alcanzándola con unos ingresos de unos 4.000 USD/mes, frente a unos 6.000-8.000 USD/mes en las demás regiones. La Tabla 5 presenta los coeficientes de la Ecuación 3 para las diferentes regiones climáticas, así como un modelo de difusión para la ciudad de Guayaquil. El análisis muestra que el coeficiente de determinación (R^2) para la región Litoral es mayor que en las otras dos regiones, lo que es de esperar debido al número de datos encontrados en cada una de las regiones. Debido a la simetría de la curva, el punto de inflexión se encuentra donde la tasa de propiedad de AA llega al 50%, y donde la velocidad a la que la velocidad de cambio de la tasa de propiedad de AA alcanza su máximo y empieza a disminuir. Actualmente, el Ecuador se encuentra en un nivel de ingresos de aproximadamente mil dólares per cápita al mes. Es decir, el país se encuentra justo al principio del crecimiento exponencial de la tasa de propiedad de AA.

Figura 18. Modelo de difusión de AA por región climática en el Ecuador

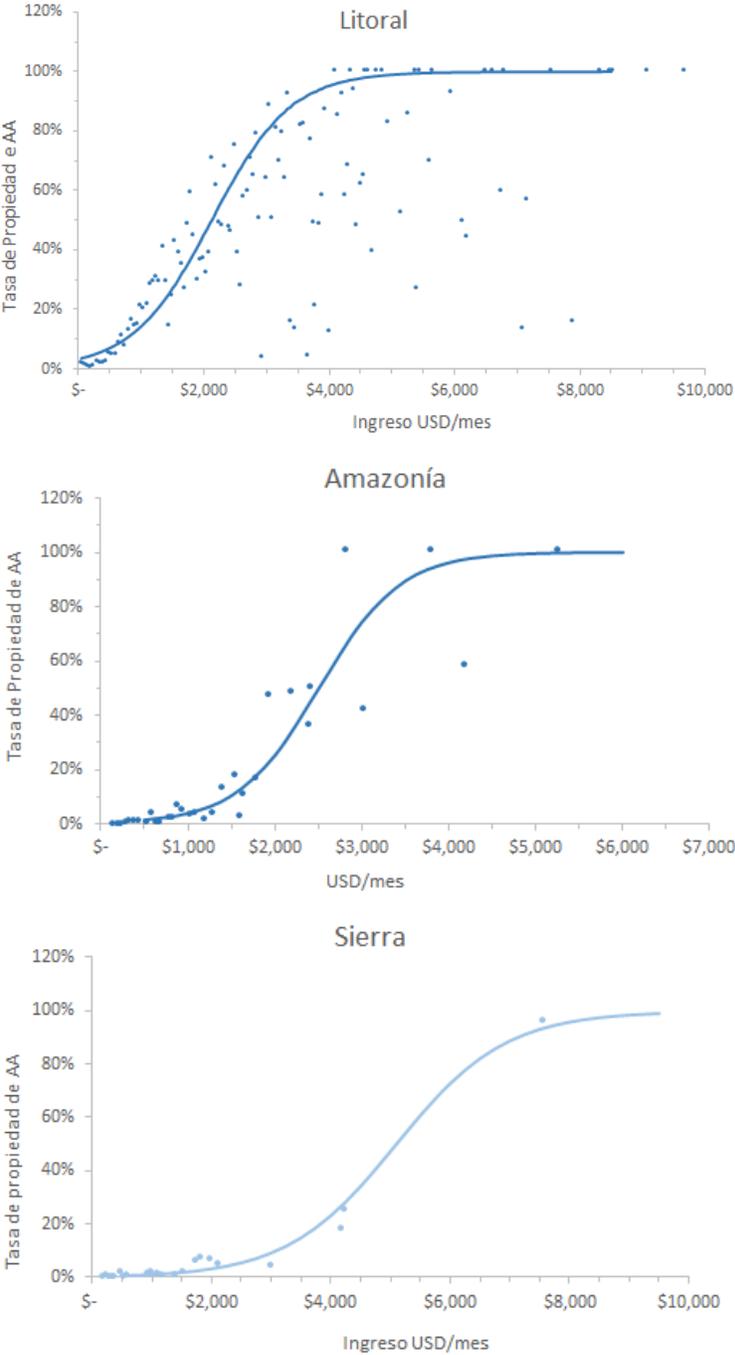
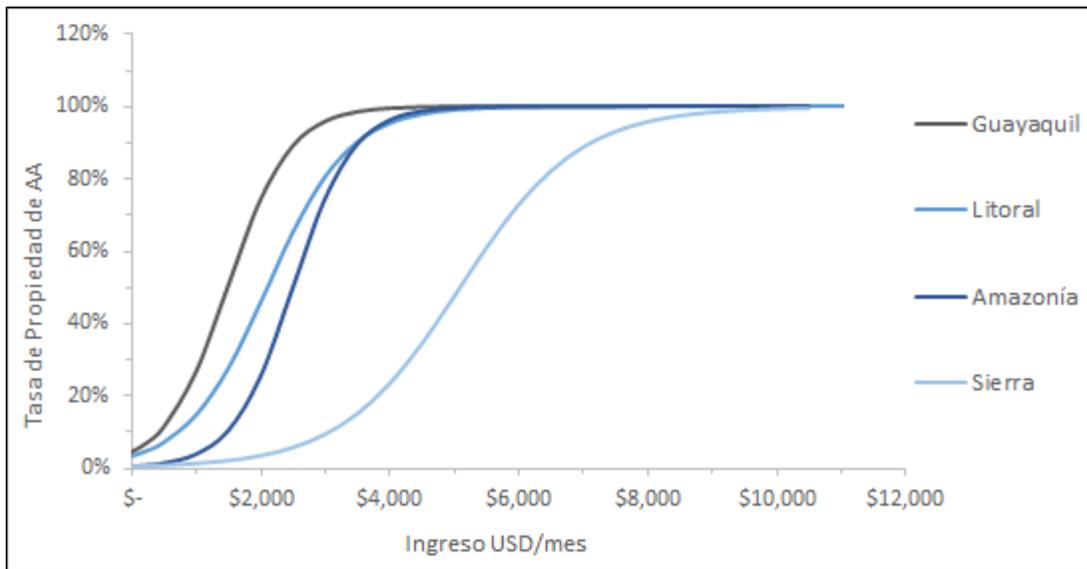


Tabla 6. Comparación de los modelos de difusión de AA.

Ubicación	CDD (°C) ⁸	<i>CMax</i>	β	$\ln(\gamma)$	R ²	Punto de inflexión (USD/mes)
Región Litoral	2,748	0.994	1.69×10^{-3}	3.347	0.81	1,980
Región Amazonía	2,400	0.989	2.16×10^{-3}	5.403	0.78	2,507
Región Sierra	178	0.320	1.09×10^{-3}	5.569	0.59	5,096
Guayaquil (Porras, Arnaldo, Soriano y Ramírez, 2023)	2,748	0.994	2.08×10^{-3}	3.10	0.59	1,490

Figura 19. Comparación de los modelos de difusión de AA.



4.2.2 Previsiones de población, hogares y PIB

Para la estimación del número de hogares se utilizó como base un pronóstico de población por provincia en el Ecuador de 2010 a 2045 (INEC, 2012). Según los datos de (INEC, 2011; INEC, 2020; INEC, 2021), de 2010 a 2020, el tamaño de los hogares disminuyó a una tasa del 0,73% anual. Esto se utilizó para calcular el tamaño futuro de los hogares y, con la población, el número futuro de hogares. En el mismo periodo, el número de AA por hogar (teniendo en cuenta únicamente los hogares que tienen al menos un AA) se

⁸ La CDD para la región Litoral se tomó como en (Porras Carrión 2020). La CDD para las demás regiones se obtuvo utilizando una herramienta en línea, considerando una temperatura base de 18,5°C (Degree Days 2023). Para la región amazónica se tomó un promedio de los valores disponibles entre 2020 y 2022 de tres estaciones meteorológicas (Coca/francisco, CE (76.99W,0.46S); Lago Agrio, CE (76.87W,0.09N); Pastaza / Rio Amazonía, CE (78.06W,1.51S)). Para la región sierra se tomó un promedio de los valores disponibles entre 2020 y 2022 de tres estaciones meteorológicas (Nuevo Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre, CE (78.35W,0.12S); Cuenca / Mariscal Lamar, CE (78.98W,2.89S); Riobamba/chimbor, CE (78.66W,1.65S))

mantuvo prácticamente constante en las tres regiones. El número de AA por hogar para cada región climática se toma como la media de los niveles de 2010, 2019 y 2020.

La entrada para el modelo de difusión, el ingreso de los hogares, se modela mediante PIB per cápita. Se utiliza el PIB per cápita, en Paridad de Poder Adquisitivo (PPA) constante de 2010 USD, y se proyecta hasta el 2045. Durante todo el periodo de análisis, se ha considerado que el PIB crece a una tasa del 2,8% anual, tal y como se utiliza en las proyecciones oficiales ecuatorianas (BCE, 2007-2022). El coeficiente de PPA es el del Fondo Monetario Internacional de 2021, y se tomó un deflactor del PIB promedio de 2010-2020 del Banco Mundial (ver Tabla 6). La desagregación por regiones climáticas se obtiene a través de una participación en el PIB constante, igual a la participación promedio entre 2016 y 2020.

Tabla 7. Variables utilizadas para la previsión del PIB y de los hogares.

Nombre de la variable	Región	Valor	Unidades
Tasa de disminución del tamaño de los hogares	Nacional	0.73%	%/año
Deflactor del PIB	Nacional	1.0083	USD 2010/USD
Coeficiente PPA	Nacional	1.942	USD PPA/USD
AA por hogar	Litoral	1.5	#AA/Hogar
	Amazonía	1.2	
	Sierra	1.2	
Participación en el PIB	Litoral	47.2%	
	Amazonía	3.8%	
	Sierra	48.9%	
Tarifa eléctrica	Litoral	0.089	USD/kWh
	Amazonía	0.077	
	Sierra	0.087	

4.2.3 Consumo de energía de referencia y construcción de escenarios

Con los resultados de los apartados 4.2.1 y 4.2.2, es posible proyectar hasta 2045 la tasa de propiedad en función del PIB per cápita previsto. Para cada región, el número de AA en el sector residencial se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 6: } \#AA^i = Tasa Propiedad^i \times \#HH^i \times \left(\frac{\#AA}{\#HH}\right)^i$$

Donde i es la región, $\#HH^i$ es el número de hogares en la región i , y $\left(\frac{\#AA}{\#HH}\right)^i$ es el número de AA por hogar en la región i , los valores se pueden encontrar en la Tabla 6. Como sugieren McNeil & Díaz (2019), el sector residencial en el Ecuador representa el 70% de la cuota de mercado de los sistemas mini-split de menos de 36.000 BTU/h en el Ecuador. El sector comercial pequeño tiene el 30% restante de participación,

condición necesaria para obtener el número total de AA en el Ecuador. Una vez obtenido el número total de AA, se puede utilizar la metodología descrita en la sección 4.1 y la figura 14 para desglosar el número de AA por marca, tipo y capacidad para cada región climática. Por último, se puede obtener el consumo de energía y las emisiones de CO₂, que se muestran en la Sección 4.1

Todos los escenarios descritos a continuación utilizan la misma proyección del número de AA basada en el escenario de crecimiento del PIB mencionado en la sección 4.2.2. Los escenarios asumen 1.095 horas anuales de uso de AA en las regiones del Litoral y la Amazonia (Porrás Carrión, 2020), y 350 horas para la región del Sierra (un tercio de las demás regiones). A partir de 2022, el factor de carbono de la electricidad se tomó como en la Tabla 4.

- **BAU:**

El escenario de referencia o "*Business as Usual*" BAU, considera los niveles de eficiencia energética descritos en la Tabla 21 del Anexo, producto de las hipótesis de la Sección 3.3, es decir, ninguna mejora de la eficiencia sin nuevas NEEM ni una mejor aplicación de la normativa vigente.

- **Sc 1: APLICACIÓN DE LAS NORMAS VIGENTES:**

Este estudio muestra que una parte significativa del mercado de AA en el Ecuador no alcanza el nivel de eficiencia energética exigido por la norma actual (3,2 W/W EER). Para este escenario, se considera que la eficiencia energética para todos los nuevos AA está al menos en los requisitos de la norma. La eficiencia energética de los equipos que actualmente están por debajo de los requisitos mínimos de la norma se fija en el nivel mínimo de la norma actual.

- **Sc 2: PROPUESTA DE NUEVO NEEM:**

El nuevo NEEM propuesto y analizado aquí requiere varios elementos nuevos a tener en cuenta en el nuevo reglamento. El primero es el cambio de la métrica de eficiencia energética. En segundo lugar, la introducción de NEEM escalonados en función de la capacidad del equipo. En tercer lugar, la introducción de un NEEM para cada tipo de AA (convencional o inverter).

La nueva propuesta del NEEM adopta los requisitos de eficiencia energética vigentes en México. Aunque los escenarios de mayor eficiencia (Sc4 y Sc5) están un paso por delante en comparación con los otros escenarios en términos de eficiencia energética, la inversión inicial es muy elevada para que se adopten los hogares ecuatorianos. Esto lo convierte en un buen punto medio entre el escenario BAU y las normas de mayor eficiencia, añadiendo diferentes dimensiones para regular el mercado. Esta norma regula la eficiencia energética de los equipos convencionales y de los inverter por separado, en función de la capacidad del equipo. Además, se utiliza una medida diferente de eficiencia energética en lugar de la medida ERR. El SEER tiene en cuenta un conjunto de condiciones climáticas diferentes durante las pruebas, mientras que el EER sólo tiene en cuenta una condición climática. Como resultado, SEER es una medida más realista de la eficiencia energética de un sistema mini-split. La tabla 7 presenta la nueva norma de eficiencia energética propuesta para Ecuador. Se considera que la eficiencia energética para todos los nuevos AA vendidos está al menos en los requisitos de la norma. La eficiencia energética de todos los equipos que en la línea de base están por debajo de los requisitos de la norma se fija en el nivel mínimo presentado en la Tabla 7.

Se exploran tres escenarios adicionales para otros niveles de NEEM. La Tabla 8 y la Tabla 9 presentan las definiciones de eficiencia energética y UEC utilizadas para cada escenario.

- **Sc 3: Buenas prácticas regionales:** Argentina nivel NEEM (IRAM, 2019)
- **Sc 4: Comisión regional de normalización:** El nivel NEEM es la calificación "A" de la comisión técnica panamericana de normalización, norma COPANT 1711 (INEN, 2023).
- **Sc 5: Nivel NEEM de la Unión Europea: Nivel NEEM de la Unión Europea**
- **Sc 6: Alta eficiencia:** Es una mezcla entre los niveles NEEM de la UE para equipos convencionales y los niveles de eficiencia media para equipos inverter que se encuentran en (Karali, et al., 2020)

Tabla 8. Nueva NEEM propuesta para sistemas mini-split para el Ecuador (escenario 2).

BTU/h	SEER convencional W /W _{te} (BTU/We)	Inverter SEER W /W _{te} (BTU/We)
Menos de 14.000		
Más de 14 000 Hasta 20.000	3.40 (11.6)	4.68 (16)
Más de 20.000 Hasta 36.000	3.37 (11.5)	4.39 (15)
Más de 36 000 Hasta 65.000	3.34 (11.4)	4.1 (14)

Fuente: (SEGOB, 2018) (SEGOB, 2016)

Tabla 9 . Definiciones de escenarios de eficiencia energética para nuevos AA NEEM, SEER (W/W).

	Capacidad (BTU/h)	BAU	Sc1	Sc2	Sc3	Sc4	Sc5	Sc6
Convencional	12,000	3.24	3.24	3.40	3.39	3.60	4.60	4.60
	18,000	3.17	3.24	3.40	3.39	3.60	4.60	4.60
	24,000	3.16	3.24	3.37	3.39	3.60	4.60	4.60
	36,000	3.20	3.24	3.34	3.39	3.60	4.60	4.60
Inverter	12,000	4.13	3.32	4.69	3.39	3.60	4.60	5.90
	18,000	3.95	3.32	4.69	3.39	3.60	4.60	5.90
	24,000	4.06	3.32	4.40	3.39	3.60	4.60	5.53
	36,000	3.83	3.32	4.10	3.39	3.60	4.60	5.15

En Tabla 10, el UEC en el escenario BAU refleja cómo es la eficiencia actual de los AA. Los UEC de los escenarios 1 a 6 son el consumo máximo aceptable basado en los valores de la Tabla 9 utilizando la ecuación 3. Cabe señalar que algunos valores de Tabla 10 correspondientes a los escenarios analizados son superiores en comparación con el escenario BAU. Por ejemplo, los escenarios 3 y 4 tienen un consumo de energía superior para un AA inverter de 12 000 BTU de capacidad. Esto significa que el escenario en cuestión no tendrá ningún efecto en ese tamaño y tipo de AA, porque el mercado ya es más eficiente que la norma mínima.

Tabla 10 . UEC máxima aceptable para los nuevos escenarios AA NEEM, (kWh/año).

	Capacidad (BTU/h)	BAU	Sc1	Sc2	Sc3	Sc4	Sc5	Sc6
Convencional	12,000	1,101	1,101	1,049	1,052	990	775	775
	18,000	1,688	1,651	1,573	1,577	1,485	1,163	1,163
	24,000	2,257	2,201	2,115	2,102	1,980	1,549	1,549
	36,000	3,342	3,300	3,199	3,153	2,969	2,324	2,324
Inverter	12,000	910	1,073	760	1,052	990	775	604
	18,000	1,355	1,609	1,140	1,577	1,485	1,163	907
	24,000	1,756	2,145	1,621	2,102	1,980	1,549	1,289
	36,000	2,788	3,217	2,605	3,153	2,969	2,324	2,075

4.2.4 Modelo de contabilidad de ventas

El objetivo de esta sección es determinar el número de unidades de aire acondicionado que entran en los hogares cada año basándose en la metodología propuesta por McNeil, Letschert y Van Buskirk (2007). Esta metodología consta de dos partes para contabilizar las ventas totales de aire acondicionado en un año. En primer lugar, considera las primeras compras: nuevos propietarios de AA derivados del aumento de la propiedad de AA. Las primeras compras vienen dictadas por el modelo de difusión y la proyección del PIB. Las primeras compras (PC) se definen del siguiente modo:

$$\text{Ecuación 7: } PC^y = \#AA^y - \#AA^{y-1}$$

Es decir, las PC en el año y son iguales al número de AA en el año y menos el número de AA en el año anterior.

La segunda parte de la metodología se centra en estimar el número de AA que se sustituyen por uno nuevo cada año. Para ello, McNeil, Letschert y Van Buskirk (2007) asignan una probabilidad de sustitución basada en una distribución de probabilidad que tiene en cuenta la edad del equipo y otras variables constantes. La ecuación 8 utiliza una distribución normal acumulada como probabilidad de sustitución.

$$\text{Ecuación 8: } P_s(\alpha) = \sum_{\alpha=0}^{\alpha} \frac{1}{D_{edad}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha-\alpha_0}{D_{edad}}\right)^2}$$

Donde P_s es la probabilidad de sustitución, α es la edad del aire acondicionado, α_0 es la vida media de un aire acondicionado, tomada como 12 años. Y D_{edad} la desviación media de las edades de sustitución, tomada como 2 años (McNeil, Letschert y Van Buskirk, 2007). Las sustituciones de AA para el año “ y ” se describen mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 9: } Sustituciones^y = \sum_{\alpha=1}^A \#AA^{y-1}(\alpha) \times P_s(\alpha)$$

Donde $\#AA^{y-1}(\alpha)$ es el número de AA de edad α en el año $y-1$. Por último, las ventas totales de AA en año “ y ” se obtienen sumando las ecuaciones 7 y 9:

$$\text{Ecuación 10: } Ventas^y = PC^y + Sustituciones^y$$

4.2.5 Análisis de picos de demanda eléctrica.

El ahorro energético derivado de los nuevos NEEM para AA también evitará un cierto nivel de demanda de capacidad de la red eléctrica. Una parte de esta reducción de la demanda se producirá durante las horas punta de la temporada de calor, y el resto fuera de la temporada de calor. Esto es importante porque no sólo alivia la presión sobre el sistema eléctrico a corto plazo, sino que también evitará la construcción de nueva capacidad a mediano y largo plazo. Esto es de especial interés para la región del Litoral, porque la demanda de carga máxima se satisface con centrales térmicas que utilizan combustibles fósiles, como muestra la Figura 16.

Siguiendo la metodología propuesta por Letschert, Agarwal, de la Rue du Can y Park (2023), se asume que la mitad del uso de AA se produce durante el día y la otra mitad por la tarde y por la noche. Se asume que todo el uso de AA en el sector comercial (30%) coincide con la carga máxima durante el día. Por consiguiente, se determina un factor de coincidencia del 65% entre el uso de AA y la demanda máxima. Además, los AA se encienden y apagan constantemente y no funcionan todos al mismo tiempo. Durante las horas punta, se asume que el 60% de los AA funcionan simultáneamente. En (Letschert, Agarwal, de la Rue du Can, & Park, 2023) se describe la Capacidad de Generación Evitada (CGE) mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 11: } CGE = \frac{\text{Ahorro Energía}}{1-T\&D} \times \frac{1}{8760} \times \frac{FCP \times FS}{U \times K}$$

Donde “*Ahorro energía*” es la diferencia entre el consumo de electricidad en el escenario BAU y el consumo de electricidad en el escenario de una nueva NEEM; *T&D* es el factor de pérdida por transmisión y distribución regional; *FCP* es el factor de coincidencia de picos determinado en un 65%, *FS* es el factor de simultaneidad supuesto en un 60%; *U* es el porcentaje de tiempo de utilización los AA en un año, en este caso $U = \frac{1095}{8760} = 12.5\%$; y *K* es el factor de planta de generación eléctrica de carga punta, calculado regionalmente a partir de los datos de capacidad instalada y producción eléctrica de (ARCERNNR, 2022-1).

Una vez obtenido la CGE, puede emplearse para estimar los Costes de Inversión en Capacidad Evitados (CICE). Como se ha mostrado anteriormente, la demanda de carga máxima en la región del Litoral se satisface mediante centrales térmicas. Con los datos de (ARCERNNR, 2022-1), fue posible calcular la cuota por tipo de tecnología de la energía producida únicamente con centrales térmicas. En 2022, en la región del Litoral, el 32% de la electricidad se produjo con Motores de Combustión Interna (MCI), el 21% con

turbinas de gas y el 47% con turbinas de vapor, todas ellas alimentadas con gas natural, gasóleo, fuelóleo y petróleo crudo (porcentajes relativos a la producción total de las centrales térmicas). Sólo se ha podido encontrar un coste de inversión para MCI específico para Ecuador (ARCERNNR, 2021). Para los otros tipos de tecnología de generación, se tomaron valores de referencia para Chile (CNE, 2023) y pueden verse en la Tabla 10.

Tabla 11. Costes de inversión de la tecnología de generación térmica.

Tecnología	Coste de inversión (USD/kW)	Cuota de generación de electricidad⁹
MCI	1, 254	32%
Turbina de vapor	791	47%
Turbina de gas	1, 048	21%
Media ponderada	986	

Fuente: (ARCERNNR, 2021; CNE, 2023; ARCERNNR, 2022-1)

4.2.6 Economía del consumidor

El estudio de mercado de los minoristas en línea recopilado para este estudio se utilizó para realizar un análisis de regresión que permita obtener los precios de las AA según los criterios de la tabla 9. Sin embargo, los datos recopilados no tienen el nivel de detalle de precios por eficiencia necesario para describir todos los escenarios individualmente. Por este motivo, los escenarios se agruparon en tres niveles de eficiencia. El nivel de eficiencia bajo corresponde a los AA que están por debajo de la regulación actual (Sc1); el nivel de eficiencia medio corresponde a los AA con eficiencias por encima de la regulación actual, pero por debajo de los estándares de mayor eficiencia (Sc2, Sc3 y Sc4); y el nivel de eficiencia alto corresponde a los niveles de eficiencia de Estados Unidos y la UE (Sc 5 y 6). Además, las capacidades se clasifican en tres categorías: 12, 18, y 24 y superiores, todas ellas en kbtu/h. Esta metodología establece un precio de referencia correspondiente a la norma de eficiencia actual, como se muestra en la tabla 11.

Tabla 12. Precios de la AA utilizados para el análisis LCC, USD.

Escenario	Eficiencia	12.000	18.000	24.000 y más
-	Línea de base	\$373	\$495	\$628
Sc1	Baja eficiencia <3,2 SEER	\$325	\$447	\$580
Sc2, Sc3 y Sc4	Eficiencia media 3,2 < . <4,6 SEER	\$420	\$541	\$675
Sc5 y Sc6	Alta eficiencia >4,6 SEER	\$660	\$782	\$915

⁹ Sólo para la región del Litoral. Proporción relativa a la producción total de las centrales térmicas.

La tabla 13 presenta los UEC de los aparatos de AA para el análisis del ACCV. Se obtuvieron aplicando la ecuación 3 a los respectivos niveles de eficiencia energética y capacidades. Los niveles de eficiencia bajos corresponden a la media de los aparatos de AA que están por debajo de 3,3 W/W SEER.

Basándose en la información de las tablas 12 y 13, se realizó un ACCV para las tres regiones climáticas. Para este análisis se utilizó la tarifa residencial eléctrica promedio de 2022 (Tabla 6). Como se menciona en (Porrás Carrión, 2020) y por el Banco Central del Ecuador, para el sector residencial ecuatoriano una tasa de descuento del 6% es un valor adecuado.

Tabla 13. UEC considerado para el análisis ACCV, kWh/año.

	SEER (W/W)	12,000	18,000	24.000 y más
Línea de base	3.24	1,206	1,809	2,412
Baja eficiencia <3,3 SEER	3.12-2.97-3.01	1,228	1,911	2,522
Eficiencia media 3,3< <4,6 SEER	3.4	1,152	1,728	2,304
Alta eficiencia >4,6 SEER	4.6	882	1,323	1,764

4.3 Nuevos NEEM, ahorro energético y reducción de emisiones de GEI

4.3.1 Impactos nacionales

La figura 20 muestra los resultados previstos para la proyección del consumo eléctrico por enfriamiento residencial hasta 2045, así como otros parámetros utilizados en la proyección. Se prevé que el número total de AA se duplique con creces de aquí a 2035 y se cuadruplica de aquí a 2045, ya que se prevé que la tasa de propiedad de AA se triplique y que el número de hogares aumente en más de un 50% de aquí a 2045. Como resultado, se prevé que el consumo de electricidad para enfriamiento en el sector residencial del Ecuador se duplique con creces en 2035 y se cuadruplica con creces en 2045, pasando de 1 TWh en 2020 a 2,3 TWh en 2035 y 4,3 TWh en 2045.

Figura 20. Proyección del consumo eléctrico de enfriamiento residencial.

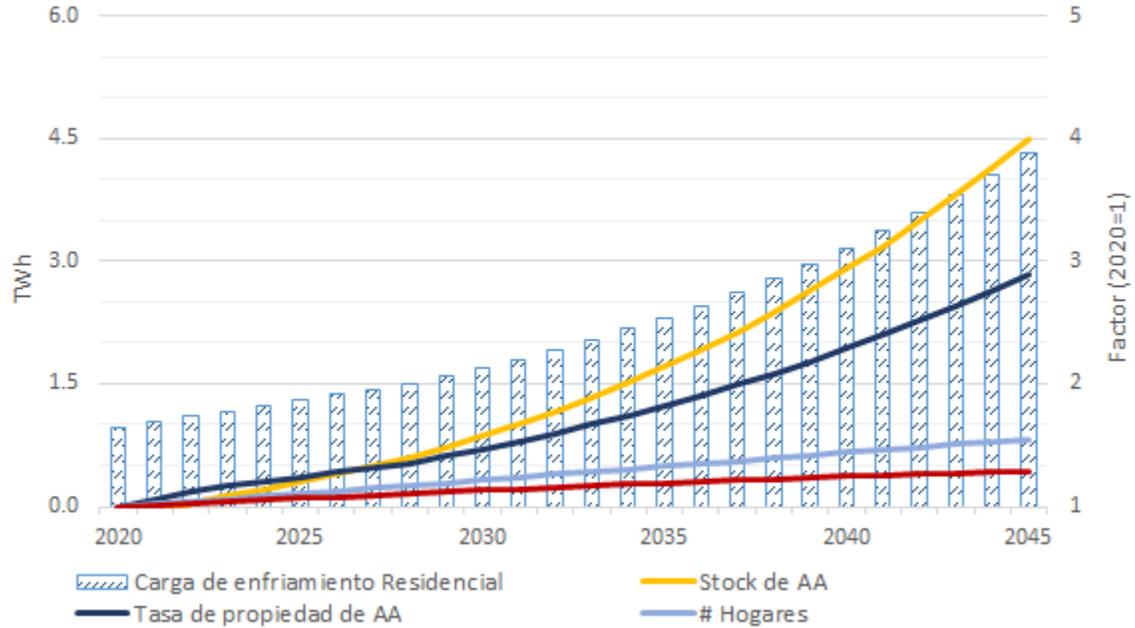
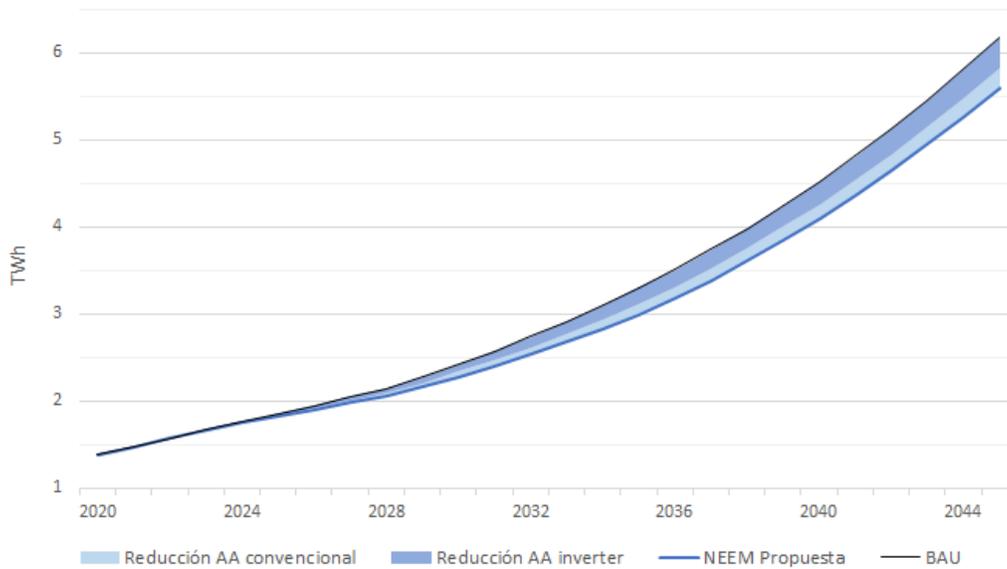


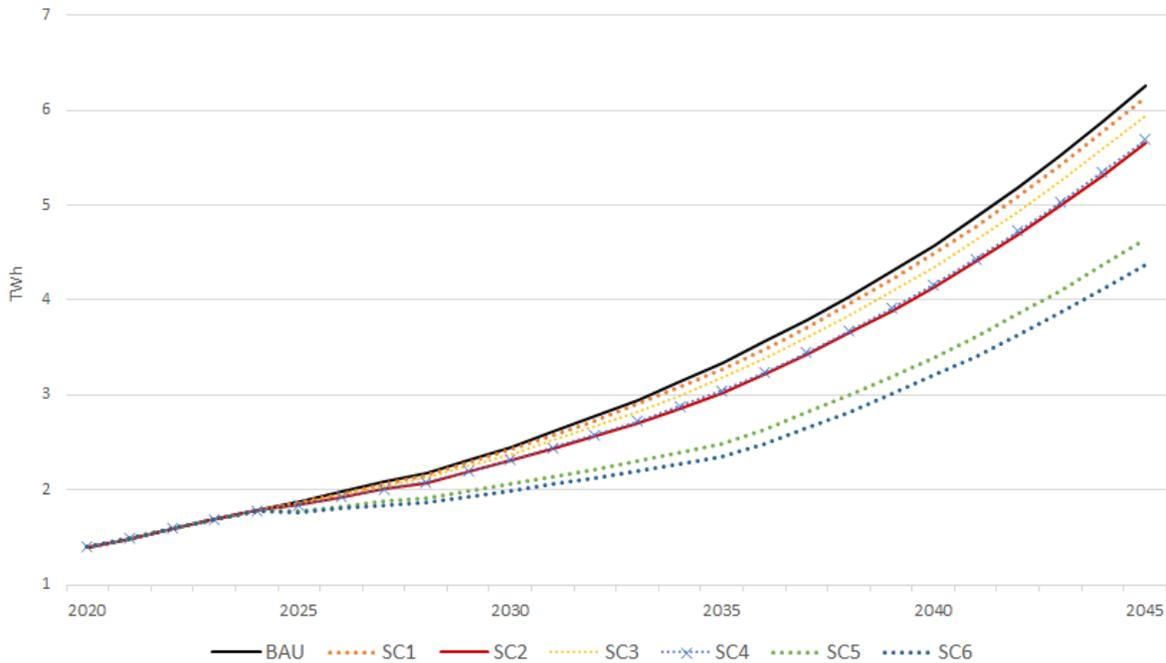
Figura 21. Proyecciones del consumo de electricidad por enfriamiento para el escenario BAU y el escenario de una nueva NEEM propuesta.



La Figura 21 presenta el consumo de energía proyectado debido al enfriamiento desde 2018 hasta 2045, para la nueva NEEM propuesta en comparación con el escenario BAU. Muestra la contribución a la reducción del consumo de energía por tipo de AA. Como se muestra, a pesar de que los inverter representan el 34% de la cuota de mercado, suponen aproximadamente el 57% del ahorro energético. Se calcula que, para 2035, la nueva NEEM propuesta conducirá a una reducción anual del 9% en el consumo

de electricidad en comparación con el escenario BAU. La figura 22 presenta el consumo de electricidad de los AA con los distintos NEEM explorados. La nueva NEEM propuesta tiene un consumo eléctrico inferior al de las mejores prácticas regionales. Puede observarse que los escenarios de mayor eficiencia (Sc4 y Sc5) están un paso por delante del escenario propuesto, lo que lo convierte en un buen punto medio entre el escenario BAU y las normas de mayor eficiencia, preparando el mercado para una posterior actualización de la normativa.

Figura 22. Consumo previsto de electricidad para enfriamiento en los distintos escenarios, 2020-2045



Las siguientes tablas (de la Tabla 13 a la Tabla 18) presentan los resultados relativos al ahorro energético, la reducción de capacidad y el ahorro monetario correspondiente, así como las emisiones acumuladas de CO₂ evitadas. Los resultados se presentan en 2035 y 2045 para cada escenario NEEM y por tipo de CCAA.

La Figura 23 muestra la UEC proyectada para los distintos escenarios NEEM en comparación con el escenario de referencia. También muestra el tiempo necesario para sustituir todos los AA antiguos y menos eficientes, lo que ocurrirá alrededor del 2035. Se muestra el porcentaje de reducción del UEC para 2035. La nueva NEEM propuesta tiene una reducción del UEC de alrededor del 9%. La mayor reducción del UEC corresponde al escenario de alta eficiencia, que registra una reducción del 30%.

Figura 23. UEC proyectado para el escenario de referencia y nuevas NEEM.

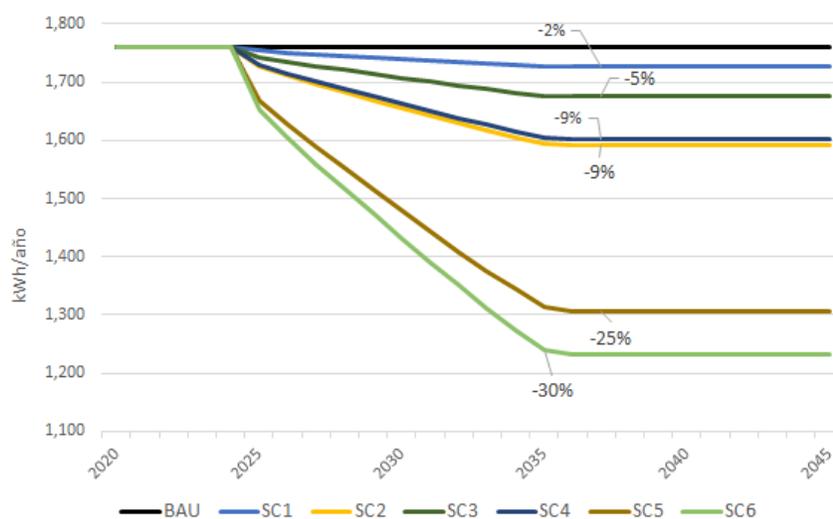


Tabla 14. Ahorro energético anual con las distintas NEEM en 2035 y 2045, GWh.

NEEM	Convencional		Inverter		Total	
	2035	2045	2035	2045	2035	2045
Sc1	64	122	-	-	64	122
Sc2	121	230	195	369	316	599
Sc3	134	255	26	50	160	305
Sc4	236	447	60	113	296	560
Sc5	650	1.234	198	376	848	1.610
Sc6	650	1.234	338	642	988	1.876

Tabla 15. Ahorro acumulado en las facturas de electricidad con las distintas NEEM en 2035 y 2045, millones de USD.

NEEM	Convencional		Inverter		Total	
	2035	2045	2035	2045	2035	2045
Sc1	32	115	-	-	32	115
Sc2	60	217	96	348	156	565
Sc3	66	240	13	47	79	287
Sc4	116	421	29	107	145	528
Sc5	320	1.162	98	354	418	1.516
Sc6	320	1.162	166	605	486	1.767

Tabla 16. Subsidios acumulados evitados con las distintas NEEM en 2035 y 2045, millones de USD.

NEEM	Convencional		Inverter		Total	
	2035	2045	2035	2045	2035	2045
Sc1	1,4	4,9	-	-	1,4	4,9
Sc2	2,5	9,2	4,1	14,9	6,6	24,1
Sc3	2,8	10,2	0,6	2,0	3,4	12,2
Sc4	5,0	18,0	1,3	4,6	6,3	22,6
Sc5	13,7	49,6	4,2	15,1	17,9	64,7
Sc6	13,7	49,6	7,1	25,8	20,8	75,4

Tabla 17. Capacidad de generación evitada con las distintas NEEM en 2035 y 2045, MW.

NEEM	Convencional		Inverter		Total	
	2035	2045	2035	2045	2035	2045
Sc1	51	97	-	-	51	97
Sc2	96	182	154	292	250	474
Sc3	106	202	21	40	127	242
Sc4	187	354	47	90	234	444
Sc5	515	977	157	298	672	1.275
Sc6	515	977	268	508	783	1.485

Tabla 18. Inversiones en capacidad evitadas según las distintas NEEM en 2035 y 2045, millones de USD.

NEEM	Convencional		Inverter		Total	
	2035	2045	2035	2045	2035	2045
Sc1	50	96	-	-	50	96
Sc2	95	180	152	289	247	469
Sc3	105	199	21	39	126	238
Sc4	184	349	47	89	231	438
Sc5	508	964	155	294	663	1.258
Sc6	508	964	264	501	772	1.465

Tabla 19. Reducción acumulada de las emisiones de CO₂ con las distintas NEEM en 2035 y 2045, millones de toneladas de CO₂.

NEEM	Convencional		Inverter		Total	
	2035	2045	2035	2045	2035	2045
Sc1	0,2	0,8	-	-	0,2	0,8
Sc2	0,4	1,6	0,7	2,5	1,1	4,1
Sc3	0,5	1,7	0,1	0,3	0,6	2,0
Sc4	0,8	3,1	0,2	0,8	1,0	3,9
Sc5	2,3	8,4	0,7	2,6	3,0	11,0
Sc6	2,3	8,4	1,2	4,4	3,5	12,8

Estos resultados muestran que, para la nueva NEEM propuesta, el ahorro total de electricidad ascendería a 0,6 TWh en 2045, lo que supondría una reducción de capacidad de 474 MW equivalente a una inversión de 469 millones de USD. El ahorro económico para el consumidor derivado de la reducción de la factura eléctrica ascendería aproximadamente a 565 millones de USD, con subsidios evitados de 24 millones de USD en 2045. Las emisiones acumuladas de CO₂ evitadas hasta 2045 se estiman en 4,1 millones de toneladas. Cabe destacar que la nueva NEEM propuesta y el escenario Sc4, que corresponde a la norma COPANT, presentan resultados globales muy similares. La distribución de los impactos por tipo de equipo crea una diferencia en los dos escenarios. Mientras que los equipos convencionales de AA suponen el 80% de todos los impactos en el escenario Sc4, sólo suponen el 40% en la nueva propuesta de NEEM.

El potencial técnico alcanzable representado aquí por el escenario Sc6 muestra que el ahorro total de electricidad es de 1.9 TWh, lo que supone una reducción de capacidad de 1,5 GW, equivalente a una inversión de 1.400 millones de USD. El ahorro financiero de los consumidores debido a la reducción de las facturas de electricidad asciende a 1.700 millones de USD, y las subvenciones a 75 millones de USD. Las emisiones acumuladas de CO₂ evitadas hasta 2045 se estiman en unos 13 millones de toneladas.

4.3.2 Análisis del coste del ciclo de vida

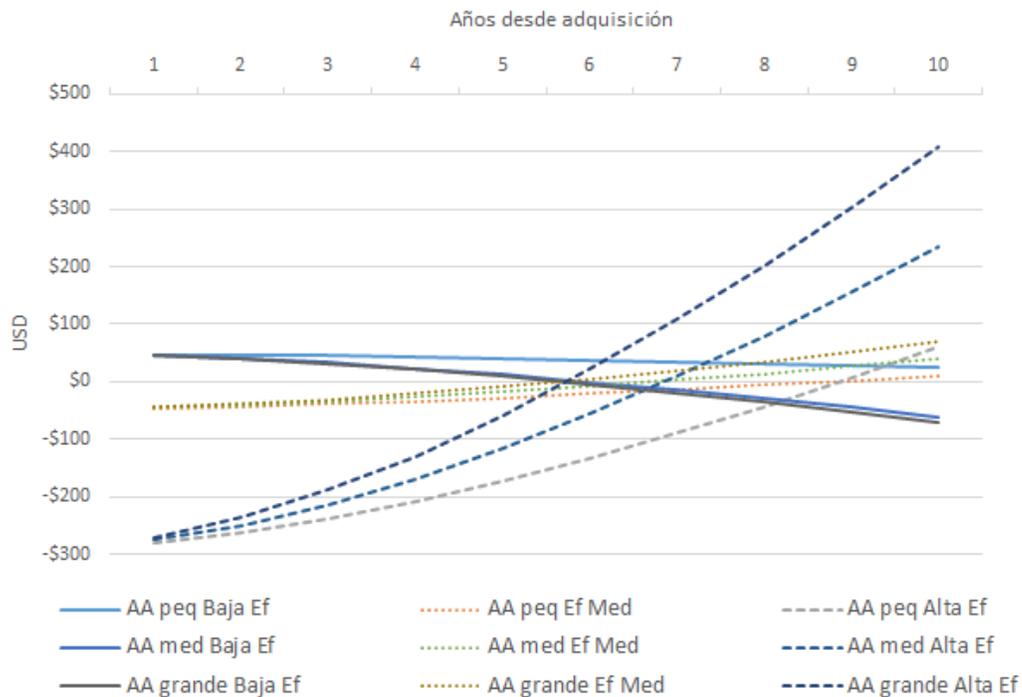
La Tabla 19 presenta los resultados medios de reducción del ACCV para las distintas regiones climáticas. Las reducciones se comparan con el caso base y las medias se obtuvieron ponderando con la cuota de mercado respectiva para cada capacidad, como en la Figura 13. Los resultados detallados para cada capacidad de AA en cada región climática pueden verse en el Anexo (Tabla 23 a Tabla 25). Como ya se ha mencionado, los niveles de eficiencia que aparecen en la Tabla 19 son indicativos para los escenarios de eficiencia de la Tabla 11.

Los valores correspondientes al caso de baja eficiencia aparecen como negativos; indican que el ACCV es superior en comparación con el caso base y, por tanto, el caso base es rentable en comparación con el caso de baja eficiencia. Sólo el caso de baja eficiencia para la región de la Sierra no resultó rentable. Los mayores beneficios se encuentran en la región del Litoral para el escenario de alta eficiencia para grandes capacidades, estimados en más de 1.800 USD. Los beneficios de la nueva NEEM propuesta en la región del Litoral son de aproximadamente 200 USD, oscilando entre 130 y 300 USD. Los periodos de amortización para las regiones de la Amazonía y Litoral son de 5,5 años para la nueva NEEM propuesta y de 8 años para la región de la Sierra, ambos por debajo de la vida media de un AA típico.

Tabla 20. Resultados del CCV de tamaño medio para diferentes regiones climáticas.

	Escenario ACCV	Reducción ACCV (USD)	Periodo de amortización (años)
Litoral	Baja eficiencia	-\$193.4	6.6
	Eficiencia media	\$214.8	5.4
	Alta eficiencia	\$1278.2	5.5
Amazonía	Baja eficiencia	-\$163.2	5.9
	Eficiencia media	\$182.1	5.7
	Alta eficiencia	\$1082.5	5.8
Sierra	Baja eficiencia	-\$31.4	10+
	Eficiencia media	\$39.5	7.9
	Alta eficiencia	\$228.9	8.0

Figura 24. Resultados del ACCV a diez años para la región de la Sierra del Ecuador.



La figura 24 presenta el coste del ciclo de vida de 10 años para el uso de AA en la región de la Sierra. Como se muestra, los periodos de amortización son bastante largos, oscilando entre 6 y 9 años. Para los AA pequeños el escenario de baja eficiencia no es rentable, y para otros casos apenas lo son. En general, los grandes perdedores en un escenario NEEM actualizada son los usuarios de baja intensidad. Asumiendo que la norma provoque un aumento del precio, los habitantes de las regiones Sierra son los que ven menos beneficios, o incluso ninguno. Suponiendo que todos los hogares de la región de la Sierra no se beneficien de una nueva NEEM para AA, esto afectaría aproximadamente a 9.000 hogares, lo que representa

alrededor del 0,2% de todos los hogares del Ecuador. Esta población es baja y es la que menos probabilidades tiene de poseer una unidad de AA debido a las condiciones climáticas. Además, el coste incremental basado en el precio al por menor tiende a sobrestimarse, ya que la imposición de una norma genera economías de escala y presión competitiva que resulta en una baja de los precios.

5. Plan de implementación

5.1 Compromiso de las partes interesadas

LBNL llevó a cabo misiones en el Ecuador en septiembre de 2022 y febrero-marzo de 2023 para interactuar con las agencias clave del espacio energético y regulatorio del país y presentar el proyecto apoyado por USAID para actualizar la regulación técnica de los AA y desarrollar un plan de acción regulatorio. Además de conectar con el MEM, MPCEIP, INEN, SAE y ARCERNNR para obtener el apoyo para la ejecución de la fase inicial de las actividades, LBNL se comprometió con los representantes de la industria de enfriamiento y miembros de la comunidad de investigación con sede en Guayaquil para obtener información sobre la dinámica del mercado y los desafíos de implementación de la regulación actual (Reglamento Técnico)¹⁰ para AA en el Ecuador. El compromiso con los principales organismos reguladores se reforzó con la participación del LBNL en la conferencia "Charlas sobre eficiencia energética en la industria, la construcción y la contratación pública sostenible", organizada por SAE en colaboración con el Instituto Alemán de Metrología (PTB).

Como resultado de estas actividades de divulgación, se celebró una "cumbre de enfriamiento" en colaboración con el Ministerio de Producción, Inversión, Comercio Exterior y Pesca de Ecuador y el equipo del LBNL el 15 de noviembre de 2023 en Quito, Ecuador. Esta actividad reunió al gobierno, la industria y la academia e informó al MEM sobre el ahorro de energía resultante de la actualización de las normas de eficiencia energética en el Ecuador a niveles superiores de eficiencia energética para AA. Esta actividad también proporcionó insumos al INEN y al Instituto de Investigaciones Geológicas y Energéticas (IIGE) para desarrollar el análisis necesario para informar las revisiones de las normas y proporcionar recomendaciones sobre los pasos necesarios para establecer regulaciones estándar.

El proceso de implementación de un reglamento técnico actualizado para los AA implicará una mayor coordinación con los organismos gubernamentales y la colaboración con otras entidades que eventualmente podrían formar parte de los grupos de trabajo técnicos que debe crear el INEN como parte del proceso de consulta pública para aprobar el reglamento actualizado.

5.2 Capacidad administrativa

La Ley Ecuatoriana del Sistema de Calidad (LESQ) establece el marco general de seguimiento, verificación y aplicación para todos los productos (fabricados en el país o importados) sujetos a Reglamentos

¹⁰ Los Reglamentos Técnicos definen las características de los productos y sus correspondientes procesos de producción que deben cumplirse para garantizar la seguridad, la salud, la preservación del medio ambiente y la protección del consumidor frente a prácticas fraudulentas.

Técnicos. Como parte de este marco, el marco legal y regulatorio que Ecuador ha desarrollado a lo largo de los años para avanzar en la eficiencia energética, especialmente desde la publicación del PLANEE en 2016, ha creado una sólida red institucional con atribuciones y facultades bien definidas para implementar programas de eficiencia energética y gestionar procesos regulatorios. Los equipos técnicos del MEM, MPCEIP, INEN y SAE, que forman parte de la CNEE, trabajan en estrecha coordinación para revisar y mejorar la normativa como parte de su mandato para mejorar el sistema de calidad del país y cumplir con los objetivos del PLANEE y la LOEE, además de actualizar el Plan Nacional de Calidad, que incluye las directrices para mejorar los productos y servicios.

El Ecuador ha estado trabajando con organizaciones internacionales de desarrollo (principalmente el PTB de Alemania) para mejorar sus capacidades técnicas y su infraestructura para hacer cumplir las normas como parte de los objetivos del Sistema Ecuatoriano de Calidad, que se define como el conjunto de procesos, procedimientos y organismos públicos responsables de la ejecución de los principios y mecanismos que sustentan la evaluación de la calidad y el cumplimiento. En este sentido, como parte de un acuerdo de cooperación bilateral entre el Ecuador y Alemania, el PTB está ayudando a los organismos gubernamentales a implementar la capacitación y el desarrollo de infraestructura para mejorar el sistema de infraestructura de aseguramiento de la calidad del país. La exploración por parte del LBNL de posibles colaboraciones y sinergias podría contribuir a los esfuerzos de capacitación.

El marco institucional encargado de la aplicación de las normas existe desde 2007. El GdE ha reconocido la necesidad de avanzar en los esfuerzos de capacitación en este ámbito para cumplir los objetivos del Plan Nacional de Calidad, que se actualiza cada dos años.

En cuanto a la financiación, el Fondo Nacional de Eficiencia Energética creado en 2014 ofrece la oportunidad de presentar una propuesta para desarrollar un programa de capacitación que apoye la aplicación de normas de eficiencia energética, incluidos los códigos de construcción. El INEN desempeñará un papel clave en este proceso, pero las directrices y propuestas reales las establece el MEM, y el MPCEIP es el organismo que firma en última instancia la aprobación de los reglamentos.

5.3 Monitoreo, verificación y cumplimiento

El artículo 57 de la LCEE faculta al MPCEIP para que, en representación del Estado ecuatoriano, vele por el cumplimiento de los requisitos y la evaluación de los procedimientos de conformidad incluidos en los Reglamentos Técnicos. El artículo 31 de la misma legislación establece que previo a la comercialización de productos nacionales o importados que estén sujetos a Reglamentos Técnicos, se deberá demostrar su cumplimiento mediante la presentación por parte del fabricante o importador de un certificado de conformidad emitido por una agencia certificadora debidamente acreditada por SAE.

En el caso específico de los equipos de AA, el importador debe presentar una declaración aduanera al Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (SENAE) con un certificado de conformidad con la normativa vigente (RTE-072-1R), emitido por una entidad certificadora del punto de origen del producto. El certificado es validado por el INEN como parte del proceso para obtener la aprobación para la importación y comercialización del producto.

El Reglamento Técnico vigente para equipos de aire acondicionado adopta los requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2495. Estos requisitos incluyen el etiquetado del producto para proporcionar información sobre el modelo, la marca, el nivel de eficiencia energética, la capacidad de enfriamiento, y las categorías de clasificación de los equipos en función de su nivel de eficiencia energética. Los procedimientos de revisión llevados a cabo en el punto de entrada por SENAE incluyen asegurar que estos requisitos de etiquetado se cumplen como parte del proceso de aprobación.

De acuerdo con los procedimientos de evaluación de la conformidad con el RTE-072-1R que cubre AA, las agencias certificadoras, laboratorios y otras entidades que emitan certificados de conformidad basados en información errónea o que manipulen deliberadamente los datos de las pruebas se enfrentarán a sanciones administrativas, civiles, penales o fiscales.

Aunque el control, la verificación y la aplicación de los Reglamentos Técnicos se describen en la LSCE y en el reglamento correspondiente a cada producto o servicio, no se indican los procedimientos y reglamentos para los equipos de aire acondicionado sin conductos. El control se basa predominantemente en pruebas documentales en el punto de entrada, en lugar de la vigilancia continua del mercado (inspecciones frecuentes realizadas en el punto de venta de los productos), la verificación (pruebas aleatorias de los niveles de eficiencia energética para garantizar que los productos son conformes) y la aplicación (sanciones aplicadas a los importadores que no cumplen). La falta de instalaciones de ensayo de equipos de AA en el país es una grave limitación para realizar muestreos y ensayos reales para verificar la conformidad de los productos que ya están en el mercado.

Además, la información proporcionada por el importador al SENAE se compila en una lista que no sirve como base de datos de certificación, ya que no se utiliza para revisar las características de los nuevos productos de AA que entran en el mercado. Este es un vacío en el proceso que puede ser resuelto mediante el desarrollo de una base de datos de certificación real que podría ser operado por SENAE y MPCEIP con una mejor capacidad para gestionar esta función.

La falta de un laboratorio en el país que sirva de centro de pruebas para los AA, la ausencia de una base de datos de certificación completa y el énfasis en las pruebas documentales exigidas en el punto de entrada por el SENAE para apoyar los procesos de MVE constituyen graves obstáculos para garantizar el pleno cumplimiento del actual Reglamento Técnico para AA. El reciente acuerdo de libre comercio entre Ecuador y China puede facilitar la penetración de más unidades de AA con niveles de eficiencia energética por debajo de la NEEM incluidos en el actual Reglamento Técnico.

Debido a las limitaciones de la capacidad de aplicación de la normativa en relación con la importación de equipos de corriente alterna, es necesario disponer de más y mejor información sobre las condiciones del mercado para desarrollar una estrategia global. Los elementos de esta estrategia incluyen la actualización de las actuales NEEM; el suministro de directrices a los importadores y minoristas para que comprendan las NEEM; el desarrollo de una base de datos de certificación real (siguiendo el modelo de las mejores prácticas a nivel regional); el aumento de la capacidad institucional para llevar a cabo las funciones de MVC; el trabajo con SAE, SENAE y las agencias de certificación para identificar las lagunas en la información proporcionada para el proceso de certificación desde el punto de fabricación hasta el punto de entrada de los productos; y la exploración de diferentes opciones de financiación para establecer un laboratorio de pruebas para equipos de AA en el Ecuador.

6. Conclusiones y recomendaciones

La conclusión general del análisis aquí presentado es que la nueva NEEM propuesta para el mercado ecuatoriano de AA, así como las otras NEEM exploradas, son técnico-económicamente viables. Los impactos alcanzan diferentes aspectos de la estructura económica ecuatoriana.

RECOMENDACIONES:

Reglamento

- Basándose en los resultados del análisis ACCV, recomendamos revisar los NEEM lo antes posible a los niveles de eficiencia correspondientes a los escenarios 2 o 4 y se propone revisar al nivel 5 en 2029 para facilitar la adaptación del mercado, ya que este nivel ofrece mayores beneficios para los consumidores. Esto incluye un cambio en la métrica de eficiencia al índice de eficiencia energética estacional (SEER), ya que es una medida más precisa de la eficiencia de los aparatos de aire acondicionado que la medida utilizada actualmente (relación de eficiencia energética EER).
 - Nacional: En 2035, el consumo eléctrico derivado del uso de AA se reducirá aproximadamente un 9% anual. En 2045, el ahorro total de electricidad alcanzará aproximadamente 0,6 TWh, equivalentes a 4 millones de toneladas de CO₂. Las subvenciones evitadas ascienden a 23 millones de USD.
 - Sector eléctrico: En 2045 se podrían evitar 460 MW de demanda eléctrica, lo que equivaldría a una inversión de 520 millones de dólares en centrales térmicas.
 - Consumidores: Dependiendo de la capacidad del equipo de aire acondicionado, los consumidores ahorrarán entre 130 y 300 USD en costes de enfriamiento durante los 10 años de vida útil del aparato. A nivel nacional, el ahorro de los usuarios en las facturas eléctricas asciende a 550 millones USD en 2045.
- El análisis también muestra que la adopción de NEEM más estrictas para los AA (escenarios 5 y 6) es aún más beneficiosa para la sociedad en términos de ahorro de energía capacidad evitada, emisiones evitadas y rentabilidad en la adquisición de equipos de AA de mayor eficiencia. Por lo tanto, se recomienda diseñar otros programas dirigidos a la adopción de AA de alta eficiencia, para permitir que el mercado se prepare para futuras actualizaciones a NEEM más elevados.
 - Por ejemplo, introduciendo un programa de subsidios a los equipos de AA eficientes, similar al que ya existe para la cocina eficiente (PEC), o fomentando la producción de AA energéticamente eficientes en el país, ya sea por parte de fabricantes locales o internacionales. El MEM está aplicando actualmente un programa piloto de sustitución de AA en las islas Galápagos, que puede utilizarse, a través de la medición in situ, como prueba de los beneficios económicos y medioambientales asociados al uso de equipos de AA más eficientes. Una versión ampliada de este programa, dirigida a zonas geográficas más pobladas del país donde el uso de AA es muy elevado, podría presentarse como proyecto a financiar por el recién creado Fondo Nacional de Inversión para la Eficiencia Energética.
 - **Conformidad**
- Junto con la adopción de un NEEM actualizado para AA, el GdE podría ampliar significativamente sus esfuerzos de desarrollo de capacidades para reforzar las capacidades de MVE como parte de

una estrategia para mejorar la infraestructura de calidad para la eficiencia energética. Esta estrategia incluiría lo siguiente

- Desarrollar una base de datos de certificación real que sería gestionada por MPCEIP con el apoyo de SAE, INEN y SENA E.
 - Formar equipos de MPCEIP, SAE, INEN y SENA E y otros organismos pertinentes para gestionar la base de datos de certificación y las actividades relacionadas con MVE.
 - Crear directrices para que los importadores y minoristas de productos de AA comprendan la NEEM y el proceso de verificación del cumplimiento.
 - Trabajar con MPCEIP, SAE, SENA E y las agencias certificadoras para identificar posibles lagunas o imprecisiones en la información proporcionada para el proceso de certificación (certificados de conformidad, etiquetas, declaraciones aduaneras) desde el punto de fabricación hasta el punto de entrada.
 - Establecer un grupo de trabajo con el gobierno, la industria, la comunidad investigadora y las organizaciones internacionales de desarrollo para explorar mecanismos financieros que permitan crear un laboratorio de pruebas en el país.
- El sector de los edificios en el Ecuador es de especial interés porque representa aproximadamente el 60% del consumo eléctrico del país. Se recomienda continuar los esfuerzos para mejorar la eficiencia energética y disminuir el consumo de electricidad en el sector de edificios. La revisión en curso de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, emprendida por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, representa una oportunidad para actualizar el componente de eficiencia energética del código y crear capacidad institucional a nivel nacional y subnacional para garantizar la aplicación de la normativa actualizada. Esto se alinea con el plan actual del GdE de crear una certificación SAE para profesionales de la gestión energética como estrategia para desarrollar un nuevo mercado laboral en torno a la eficiencia energética.
 - Aprovechar los esfuerzos en curso de las organizaciones internacionales de desarrollo (PTB, JICA, KOICA, BID, Banco Mundial) para explorar mecanismos financieros que podrían crearse en coordinación con el Fondo Nacional de Inversión para la Eficiencia Energética de Ecuador para apoyar la implementación de iniciativas como un programa de sustitución de AA o un programa de formación para desarrollar la capacidad reguladora de MVE. Este mecanismo financiero podría apoyar el desarrollo de un laboratorio nacional de pruebas para equipos de AA.
 - En relación con lo anterior, se recomienda crear una "comunidad de prácticas de enfriamiento" en el Ecuador, con una fuerte participación de los organismos gubernamentales, la industria, la comunidad investigadora y las organizaciones de la sociedad civil. Esto garantizará una interacción continua y una posible colaboración entre las partes interesadas en abordar el reto del enfriamiento en el país.

El Ecuador ha desarrollado un marco político, normativo e institucional que constituye un entorno propicio para el avance de programas y proyectos de eficiencia energética, como la actualización del NEEM de AA y la implementación de códigos de construcción. Las transiciones políticas que tendrán lugar en el Ecuador en los próximos dos años (elecciones extraordinarias en 2023 y elecciones ordinarias en 2025) pueden afectar el ritmo de los proyectos de eficiencia energética, pero organismos clave como el MEM, el MPCEIP, el INEN y la SAE tienen mandatos claros en virtud de la ley de eficiencia energética y la Ley del Sistema Ecuatoriano de Calidad y cuentan con equipos técnicos que han trabajado en el espacio normativo a través de diferentes administraciones.

7. Referencias

- Calculadora AFUE (2023). *Calculadora AFUE, ahorro SEER*. York. Consultado en 2023 de julio. <https://www.seerenergysavings.com/>.
- Ang, B. W. (2015). Enfoque de descomposición LMDI: Una guía para su aplicación. *Energy Policy*, 86. doi:10.1016/j.enpol.2015.07.007
- ARCERNNR (2021). *Análisis y Determinación del Costo del Servicio Público de Energía Eléctrica Enero-Diciembre 2022*. Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.
- ARCERNNR (2022a). *Energía Producida 2022*. Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales y No Renovables, SISDAT. Recuperado en junio de 2023 de SISDAT: <http://reportes.controlrecursosyenergia.gob.ec/>
- ARCERNNR (2022b). *Facturación clientes regulados 2022*. Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, SISDAT. Recuperado en junio de 2023, de SISDAT: <http://reportes.controlrecursosyenergia.gob.ec/>
- ARCERNNR (2022c). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2022*. Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales y No Renovables, <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/03/EstadisticaAnual2022-baja-1.pdf>
- ARCERNNR (2023). *Atlas del sector eléctrico Ecuatoriano 2022*. Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.
- Artefacta (2023). Extraído en marzo de 2023 de Artefacta: <https://www.artefacta.com>
- Augustus de Melo, C., Borges Cunha, K., & Santiago Suárez, G. P. (2022). NEEM para acondicionadores de aire en Brasil: Regulatory developments and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 163. doi:10.1016/j.rser.2022.112504
- BCE (2007-2020). Banco Central de Ecuador. Extraído en abril de 2023 de Cuentas Nacionales Regionales: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorReal/CuentasProvinciales/Indice.htm>
- Beck, H. E., Zimmerman, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Mapas de clasificación climática Köppen-Geiger presentes y futuros a 1 km de resolución. *Scientific Data*, 5. doi:10.1038/sdata.2018.214
- BID (2017). *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-3035*. Banco Interamericano de Desarrollo. Quito: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.
- CENACE (2021). *Factor de emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador-2021*. Operador Nacional de Electricidad CENACE, Gerencia Nacional de Planeamiento. CENACE.
- CENACE (2022). *Factor de Emisión de CO2 del Sistema Interconectado de Ecuador-Informe 2021*. Operador Nacional de Electricidad CENACE, Gerencia Nacional de Planeamiento Operativo.

- Climate Resource (2021). Recurso climático. 2021. *Climate Resource*. Consultado en noviembre de 2023. <https://www.climate-resource.com/tools/ndcs/countries/ecu?version=>.
- CNE (2023). *Informe de Costos de Tecnologías de Generación*. Comisión Nacional de Energía, Chile.
- Créditos Económicos. (2023). Consultado en marzo de 2023 en Créditos Económicos: <https://www.creditoseconomicos.com>
- DOE (2023). *Normas de conservación de energía y agua y sus fechas de cumplimiento*. Departamento de Energía, EE.UU.. Obtenido de <https://www.ecfr.gov/current/title-10/chapter-II/subchapter-D/part-430/subpart-C/section-430.32>
- EIA (2020). *Encuesta sobre el consumo de energía residencial 2020*. Administración de Información Energética de EE.UU.
- Gobierno de Ecuador (2019). *Ley Orgánica de Eficiencia Energética*. Asamblea Nacional República del Ecuador. Registro Oficial.
- Gran Hogar (2023). Extraído en marzo de 2023 de Gran Hogar: <https://www.granhogar.com.ec>
- Hitchin, R., Pout, C., & Riviere, P. (2013). Evaluación del mercado de los sistemas de aire acondicionado en los edificios europeos. *Energy and Buildings*, 58. doi:10.1016/j.enbuild.2012.10.007
- AIE. (2018). *El futuro de la enfriamiento. Oportunidades para un aire acondicionado energéticamente eficiente*. AIE, París.
- AIE. (2021). *Crecimiento de la demanda de electricidad en América Latina, 2021-2040*. AIE, París. Obtenido de <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electricity-demand-growth-in-latin-america-2021-2040>
- Importadora Castro. (2023). Extraído en marzo de 2023 de Importadora Castro: <https://www.importadoracastro.com>
- INEC. (2011). *Encuesta Nacional de Ingresos de los Hogares Urbanos y Rurales 2011-2012*. Obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Censos: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-nacional-de-ingresos-y-gastos-de-los-hogares-urbanos-y-rurales/>
- INEC. (2012). *Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo*. Obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Censos: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/enemdu-2012/>
- INEC. (2012). *Proyecciones de la Población de la República del Ecuador 2010-2045*. Secretaría Nacional de Planeación y Desarrollo.
- INEC. (2020). *Encuesta Nacional Multipropósito en Hogares 2019*. Obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Censos: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-nacional-multiproposito-de-hogares-2019/>
- INEC (2021). *Encuesta Nacional Multipropósito en Hogares 2020*. Obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Censos: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-nacional-multiproposito-de-hogares/>

- INEN (2017). Obtenido en enero del 2023, del Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-072-1R.pdf>
- INEN (2017). *Eficiencia Energética de Acondicionadores de Aire sin Ductos. Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Servicio Ecuatoriano de Normalización. Gobierno Nacional de la República del Ecuador.
- INEN (2023). *Datos facilitados por el INEN*.
- IRAM (2019). *Etiquetado de Eficiencia Energética de Aires Acondicionados, IRAM62406:2019*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Dirección de Reglamentos Técnicos y Promoción de la Calidad. Consultado en: http://www.puntofocal.gov.ar/notific_otros_miembros/Arg/367_t.pdf
- Karali, N., Shah, N., Young Park, W., Khanna, N., Ding, C., Lin, J., & Zhou, N. (2020). Mejora de la eficiencia energética de los acondicionadores de aire en China: Costs and benefits. *Applied Energy*, 258. doi:10.1016/j.apenergy.2019.114023
- Letschert, V. E., Agarwal, S., de la Rue du Can, S., & Park, W. Y. (2023). *Cost Benefit Analysis for Air Conditioner in Tunisia*. Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, Área de Tecnologías Energéticas. Obtenido de: <https://escholarship.org/uc/item/6227k85j>
- Li, Y., Fei, Y., Zhang, X.-B., & Qin, P. (2019). Propiedad de electrodomésticos y desigualdad de ingresos: Evidencia a partir de microdatos en China. *China Economic Review*, 56. doi:10.1016/j.chieco.2019.101309
- LOEE (2019). Asamblea Nacional República del Ecuador. (2019, 19 de marzo). Ley Orgánica de Eficiencia Energética. *Registro oficial*. Obtenido de https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/12/20190319-S_R_O_449_19_MARZO_LEY-ORGANICA-DE-EFICIENCIA-ENERGETICA.pdf
- MARCIMEX (2023). Consultado en febrero de 2023 en: MARCIMEX: <https://www.marcimex.com>
- McNeil, M. A., & Letschert, V. E. (2010). Modeling diffusion of electrical appliances in the residential sector. *Energy and Buildings*, 42. doi:10.1016/j.enbuild.2009.11.015
- McNeil, Michael A., y Virginie E Letschert. 2007. "El futuro consumo energético del aire acondicionado en los países en desarrollo y qué podemos hacer al respecto: The potential of Efficiency in the residential sector". eScholarship. <https://escholarship.org/content/qt64f9r6wr/qt64f9r6wr.pdf>.
- McNeil, M. A., Letschert, V. E., & Van Buskirk, R. D. (2007). *Methodology for the Policy Analysis Modeling System (PAMS)*. Lawrence Berkeley National Laboratory, International Energy Studies Group. Obtenido de: https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/methodology_for_pams.pdf
- McNeil, M., y Díaz, A. (2019). *Ecuador perfil de país*. Laboratorio Nacional Lawrence de Berkeley.
- MEM (2023). *ACUERDO Nro. MEM-MEM-2023-0022-AM*. Gobierno de Ecuador. Ministerio de Energía y Minas. Recuperado de: <https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2023/10/MEM-MEM-2023-0022-AM-Acuerdo-Ministerial-Sector-Elctrico.pdf>
- Mercado Libre (2023). Mercado *Libre*. Consultado en febrero de 2023. <https://www.mercadolibre.com.ec>.

- Ministerio de Energía (2017). *Informe Técnico estándar Mínimo de Eficiencia Energética Equipos de Aire Acondicionado*. División de Eficiencia Energética, Santiago de Chile, Chile.
- Ministerio de Energía (2018). *Fijar Estándar Mínimo de Eficiencia Energética para equipos de Aire Acondicionado*. Ministerio de Energía, Chile. Recuperado de: <https://bcn.cl/2hxxa>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2017). *Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador 2016-2035*. Quito. En https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/1.PLAN_NACIONAL_EFICIENCIA_ENERGETICAmaqueta-final-digital.pdf
- Ministerio de Energía y Minas (2018). *Reglamento Técnico sobre el Etiquetado de Eficiencia Energética*. Ministerio de Energía y Minas, Perú.
- Ministerio de Minas y Energía (2021). *Reglamento Técnico de Etiquetado*. Ministerio de Minas y Energía, Colombia.
- Orozco, M. (2023). A menos de tres meses del estiaje, faltan 460 megavatios de electricidad. *Primicias*. Consultado en agosto de 2023. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/estiaje-electricidad-demanda-celec/>.
- Osaka, S. (2023). *Cómo tendrán que cambiar los aparatos de aire acondicionado en el futuro*. *The Washington Post*. Consultado en junio de 2023. <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2023/06/07/air-conditioners-humid-climate-change/>.
- Mapas de pintura (2023). Consultado en junio de 2023. <https://paintmaps.com>.
- PAMS (2007). McNeil, M. A., Lestschert, V. E., & Van Buskirk, R. D. (2007). *Metodología para el Sistema de Modelización de Análisis de Políticas (PAMS)*. ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY, Área de Tecnologías Energéticas. Obtenido de https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/metholodology_for_pams.pdf
- Porras Carrión, F. V. (2020). *Evaluación de los efectos de estándares más estrictos en la regulación de eficiencia energética para aire acondicionado residencial en Guayaquil, Ecuador*. Universidade Estadual de Campinas.
- Porras, F., Arnaldo, W., Soriano, G., & Ramírez, A. D. (2023). Sobre la adopción de normas más estrictas de eficiencia energética para aires acondicionados residenciales: Estudio de caso Guayaquil, Ecuador. *Heliyon*, 9. doi:doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13893
- Ahorro SEER (2023). *Calculadora AFUE*. (York) Consultado el 2023 de julio de: <https://www.seerenergysavings.com/>
- SEGOB. (2016). NORMA Oficial Mexicana NOM-026-ENER-2015, Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido (Inverter) con flujo de refrigerante variable, descarga libre y sin ductos de aire. Límites, métodos de prueba y etiquetado. *Diario Oficial de la Federación*. Febrero.
- SEGOB (2018, 07). NORMA Oficial Mexicana NOM-023-ENER-2018, Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire. Límites, métodos

de prueba y etiquetado. *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5531685&fecha=17/07/2018#gsc.tab=0

UMEME (2023). *Tarifas minoristas de electricidad para el tercer trimestre de 2023*.

ANEXO

Tabla 21. Configuración del mercado ecuatoriano de AA.

Marca	Cuota de mercado	Inverter	Convencional	Distribución de la capacidad (BTU)			
				12,000	18,000	24,000	36,000
TCL	30%	36%	64%	38%	28%	31%	3%
Midea	19%	43%	57%	29%	43%	29%	-
RCA	16%	-	100%	33%	25%	33%	8%
LG	9%	82%	18%	41%	12%	47%	-
Hisense	9%	22%	78%	33%	33%	33%	-
Chigo	6%	22%	78%	33%	33%	33%	-
Samsung	4%	43%	57%	71%	14%	14%	-
Electrolux	3%	36%	64%	100%	-	-	-
Mabe	3%	38%	62%	54%	-	46%	-
Innovair	1%	33%	67%	-	-	33%	67%
Panasonic	1%	67%	33%	33%	33%	33%	-

Tabla 22 . Referencia de eficiencia energética para equipos de aire acondicionado por marca, tipo y capacidad, EER (Wt/We).

Capacidad (BTU)	Convencional				Inverter			
	12,000	18,000	24,000	36,000	12,000	18,000	24,000	36,000
TCL	3.16	2.75	2.94	2.97	3.24	3.26	3.24	-
Midea	3.08	3.08	3.08	3.08	3.22	3.22	3.22	-
RCA	3.24	3.24	3.24	3.24	3.22	3.22	3.22	-
LG	3.31	3.31	3.31	3.31	5.59	4.68	5.86	-
Hisense	3.08	3.08	3.08	3.08	3.22	3.22	3.22	-
Chigo	3.08	3.08	3.08	3.08	3.22	3.22	3.22	-
Samsung	3.21	3.21	3.21	3.20	4.33	4.33	4.33	-
Electrolux	3.13	3.13	3.13	3.13	3.20	4.33	4.33	-
Mabe	3.30	3.35	3.25	3.34	5.86	5.86	5.86	-
Innovair	2.87	2.84	2.97	2.90	3.22	3.22	3.22	-
Panasonic	3.50	3.15	2.97	3.21	6.57	4.33	4.33	-

Tabla 23. Resultados del ACCV para la región Litoral.

Capacidad (BTU/h)	Escenario ACCV	Reducción ACCV (USD)	Periodo de amortización (años)
12,000	Baja eficiencia	-\$23.7	9.7
	Eficiencia media	\$129.4	6.4
	Alta eficiencia	\$767.0	6.4
18,000	Baja eficiencia	-\$283.3	5.1
	Eficiencia media	\$217.4	5.5
	Alta eficiencia	\$1,293.0	5.6
24.000 y más	Baja eficiencia	-\$308.5	4.3
	Eficiencia media	\$305.5	4.2
	Alta eficiencia	\$1,820.9	4.3

Tabla 24. Resultados del ACCV para la región amazónica.

Capacidad (BTU/h)	Escenario ACCV	Reducción ACCV (USD)	Periodo de amortización (años)
12,000	Baja eficiencia	-\$14.7	9.4
	Eficiencia media	\$107.4	5.7
	Alta eficiencia	\$635.3	5.8
18,000	Baja eficiencia	-\$241.8	4.6
	Eficiencia media	\$184.4	4.7
	Alta eficiencia	\$1,096.4	4.8
24.000 y más	Baja eficiencia	-\$263.9	3.1
	Eficiencia media	\$261.5	3.1
	Alta eficiencia	\$1,557.5	3.2

Tabla 25. Resultados del CCV para la región de Sierra.

Capacidad (BTU/h)	Escenario ACCV	Reducción ACCV (USD)	Periodo de amortización (años)
12,000	Baja eficiencia	\$24.5	-
	Eficiencia media	\$11.4	9.7
	Alta eficiencia	\$60.5	9.8
18,000	Baja eficiencia	-\$61.0	6.0

24.000 y más	Eficiencia media	\$40.4	6.7
	Alta eficiencia	\$234.1	6.9
	Baja eficiencia	-\$69.3	6.8
	Eficiencia media	\$69.4	6.7
	Alta eficiencia	\$407.8	6.8

ANÁLISIS DE DESCOMPOSICIÓN DE ÍNDICES DEL USO DE ENERGÍA DE AA EN EL ECUADOR

Este análisis se realiza únicamente para el sector residencial. La ADI es una metodología que permite asignar las contribuciones de determinados factores a un cambio observado en una variable. En este caso, la variable que se va a analizar es el consumo eléctrico de AA (CE), que cambia entre los años y_0 e y , como en la ecuación siguiente:

$$\Delta EC = EC^{y_0} - EC^y$$

El año base es 2020 y el año de cambio es 2040. Para cualquier escenario y año dados, el consumo de electricidad de AA puede expresarse como:

$$\begin{aligned}
 EC &= \sum_i EC_i \\
 &= UEC_{i \text{ Intensity}} \times MS_{i \text{ Market Configuration}} \times Pop_{\text{Activity}} \times \frac{HH}{Pop} \text{ Social} \\
 &\quad \times \%Own_{\text{Structure}} \times \frac{\#AC}{HH} \text{ Comfort}
 \end{aligned} \quad (1)$$

Dónde:

- i indica el tipo de corriente alterna (convencional o inverter)
- UEC_i : Es el factor de intensidad y está directamente relacionado con la eficiencia de la AA.
- MS_i : Es la cuota de mercado de la AA convencional y la AA con inverter, es una medida de la penetración en el mercado de los equipos eficientes.
- Pop : Población total, es una medida para el factor de actividad.
- $\frac{HH}{Pop}$: Es el tamaño del hogar, es una medida para los hábitos sociales y las tradiciones.
- $\%Own$: Es la tasa de propiedad y es una medida para el factor de estructura de la actividad.
- $\frac{\#AC}{HH}$ Número de aparatos de aire acondicionado por hogar: es una medida del nivel de confort de los hogares.

El IDA permite cuantificar los impactos de los factores de la ecuación 1. En forma aditiva puede escribirse como:

$$\Delta EC = \sum_i \Delta EC_{int_i} + \Delta EC_{mc_i} + \Delta EC_{act} + \Delta EC_{soc} + \Delta EC_{str} + \Delta EC_{cmf} \quad (2)$$

Donde ΔEC_j es el impacto aditivo del factor j . Para resolver la ecuación 2 se utilizó el enfoque LMDI-I. La descripción completa de la metodología puede encontrarse en (Ang, 2015). Cada factor de impacto j , se obtiene a través de las identidades que se muestran en la Tabla 25.

Tabla 26. Factores de descomposición LMDI-I para el uso de electricidad AA.

Nombre	Símbolo	Ecuación	Variable
Intensidad	ΔEC_{int_i}	$\sum_i L(EC_i^{y_0}; EC_i^y) \times \ln\left(\frac{UEC_i^y}{UEC_i^{y_0}}\right)$	Eficiencia de AA
Actividad	ΔEC_{act}	$\sum_i L(EC_i^{y_0}; EC_i^y) \times \ln\left(\frac{Pop^y}{Pop^{y_0}}\right)$	Población
Hábitos sociales	ΔEC_{soc}	$\sum_i L(EC_i^{y_0}; EC_i^y) \times \ln\left(\frac{HH\ size^y}{HH\ size^{y_0}}\right)$	Tamaño del hogar
Estructura de la actividad	ΔEC_{str}	$\sum_i L(EC_i^{y_0}; EC_i^y) \times \ln\left(\frac{\%Own^y}{\%Own^{y_0}}\right)$	AA Propiedad

En este caso, la configuración del mercado y el factor de confort de las ecuaciones 11 y 12 permanecen constantes a lo largo del periodo de análisis; por lo tanto, sus impactos en el cambio del consumo eléctrico son 0. En consecuencia, la Tabla 25 sólo muestra factores de impacto distintos de cero.

Resultados

La Figura 24 muestra los resultados de IDA para el cambio en el consumo eléctrico de AA de 2020 a 2040. Los valores que se observan en la Figura 24 corresponden a las contribuciones en el cambio energético que tuvo cada factor de impacto durante el periodo de análisis. El componente estructural del modelo, la tasa de propiedad, resulta ser el mayor impulsor del consumo eléctrico de AA. Los componentes de eficiencia del modelo, correspondientes a la UEC de las unidades convencionales y del inverter, contribuyen a reducir el consumo de electricidad. Juntos, son similares en tamaño al componente del tamaño de los hogares, y ligeramente menores que el componente de la población. Esto significa que el cambio de eficiencia propuesto anulará el efecto del tamaño de los hogares en el cambio del consumo de energía, y casi el de la población. El cambio en la tasa de propiedad es, con diferencia, el factor que más contribuye al consumo de electricidad de los aparatos de aire acondicionado. La razón principal es que se prevé que la tasa de propiedad experimente el mayor crecimiento en los próximos 25 a 30 años, debido a su comportamiento logístico.

Figura 25. Resultados del análisis de descomposición de índices, cambio energético 2020-2040.

