



Análisis Comparativo de los Estándares Mínimos de Eficiencia Energética en Equipos de Refrigeración Doméstica en Colombia

Andrés Felipe Ramírez Sánchez

Universidad ECCI
Dirección de Programa de Posgrados
Bogotá, Colombia
2024

Análisis Comparativo de los Estándares Mínimos de Eficiencia Energética en Equipos de Refrigeración Doméstica en Colombia

Andrés Felipe Ramírez Sánchez

Trabajo de Investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magíster en Ingeniería con énfasis en Mecánica

Director:

Ph.D. Juan Sebastián Solís Chaves

Co-director:

MSc. Andrea del Pilar Rodríguez Muñoz

Línea de Investigación:

Energía

Grupo de Investigación:

GIATME

Universidad ECCI

Facultad de Ingeniería, Departamento de Posgrados

Bogotá - Colombia

2024

Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por guiarme en el camino y fortalecerme espiritualmente para empezar un camino lleno de éxito. Así, quiero mostrar mi gratitud a todas aquellas personas que estuvieron presentes en la realización de esta meta, de este sueño que es tan importante para mí, agradecer todas sus ayudas, sus palabras motivadoras, sus conocimientos, sus consejos y su dedicación.

Muestro mis más sinceros agradecimientos a mi director de proyecto Ph.D. Juan Sebastián Solís Chaves, quien sin su conocimiento y su guía no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada.

Agradecer a mi codirectora de proyecto MSc. Andrea del Pilar Rodríguez Muñoz que con su voz de aliento fue una parte clave en el desarrollo y culminación de este proyecto.

Por último, quiero agradecer al Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación que mediante la convocatoria 879 conectando conocimiento de Minciencias al proyecto de «Estándares Mínimos de Desempeño Energético, MEPS y de Etiquetado para los Equipos de Uso Final de Energía con Mayores Consumos en el País. Línea Temática 3 Convocatoria Energía Sostenible y su Aporte a La Planeación Minero Energética - 2020 Minciencias» me dieron la oportunidad de haber desarrollado mi trabajo monográfico con base en este proyecto.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a Dios por ser el inspirador para cada uno de mis pasos dados en mi convivir diario; a mi esposa Arantxa Alexandra Caicedo Arias y a mi hija Eliana Ramirez Caicedo quienes son mi motivación en este sendero de la vida.

Declaración

Me permito afirmar que he realizado la presente tesis de manera autónoma y con la única ayuda de los medios permitidos y no diferentes a los mencionados en la propia tesis. Todos los pasajes que se han tomado de manera textual o figurativa de textos publicados y no publicados, los he reconocido en el presente trabajo. Ninguna parte del presente trabajo se ha empleado en ningún otro tipo de tesis.

Bogotá, D.C., dd.mm.aaaa

Andres Felipe Ramirez Sanchez

Resumen

La presente monografía aborda la temática de la eficiencia energética en comandos de la refrigeración doméstica, que ha derivado en el establecimiento de políticas a nivel global en pro de sentar unos mínimos estándares de desempeño energético (MEPS), que garanticen a los usuarios finales poder seleccionar equipos más eficientes. Los países de Estados Unidos, Brasil, México y Chile y la Comunidad de la Unión Europea fueron tomados como referentes para revisar sus políticas y estrategias de implementación, con el fin de ser comparadas con el panorama colombiano (a nivel de mercado, técnico y político). Esto permite establecer aspectos comunes y diferencias relacionadas a la determinación del consumo energético, volumen ajustado y formalización de los rangos de eficiencia, entre otros, en el caso específico de refrigeración doméstica. Logrando distinguir los aspectos más relevantes para la adopción exitosa de estas políticas en Colombia. Se evidencia que la puesta en marcha de estas directrices impacta positivamente en el mercado de los países y comunidades referencia. De igual manera los MEPS se muestran como un mecanismo para regular el gasto energético en el sector residencial.

Palabras clave: Eficiencia Energética; Etiquetado Energético; Normas Técnicas; MEPS; Refrigeración Residencial.

Abstract

This monograph addresses the issue of energy efficiency in household appliances, which has led to the establishment of global policies in favor of establishing minimum energy performance standards (MEPS), to ensure end users to select more efficient equipment. The countries of the United States, Brazil, Mexico and Chile and the European Union Community were taken as references to review their policies and implementation strategies, to be compared with the Colombian scenario (at market, technical and political level). This allows to establish common aspects and differences related to the determination of energy consumption, adjusted volume and formalization of efficiency ranges, among others, in the specific case of domestic refrigeration. Managing to distinguish the most relevant aspects for the successful adoption of these policies in Colombia. It is evident that the implementation of these guidelines positively impacts the market of the countries and communities reference. Similarly MEPS are shown as a mechanism to regulate energy expenditure in the residential sector.

Keywords: Energy Efficiency; Energy Labeling; MEPS; Residential Refrigeration; Technical Standards; Energy Efficiency

Contenido

Agradecimientos	IV
Dedicatoria	V
Resumen	IX
Lista de Figuras	XIII
Lista de Tablas	XV
1 Introducción	1
1.1 Objetivos	5
1.1.1 Objetivo General	5
1.1.2 Objetivos Específicos	5
1.2 Metodología	5
2 Políticas de Etiquetado y MEPS	9
2.1 Unión Europea	12
2.2 Malasia	13
2.3 Estados Unidos	14
2.4 México	15
2.5 Chile	16
2.6 Brasil	17
2.7 Paraguay	19
2.8 Ecuador	19
2.9 Colombia	20
2.10 Estado del Arte de la Eficiencia Energética en Refrigeración Residencial . . .	22
2.10.1 Aislamiento Térmico	23
2.10.2 Refrigerante	23
2.10.3 Compresor	24
2.10.4 Nivel del Ruido del Compresor	25
2.10.5 Eficiencia de los Refrigeradores Fuera de Línea	25
2.11 Patentes por Perspectivas de Eficiencia de Refrigeración	27

3	Metodología para la Estimación de la Eficiencia Energética en Refrigeración Residencial	29
3.1	Cálculo del Consumo de Energía	29
3.1.1	Colombia	29
3.1.2	Unión Europea	30
3.1.3	Brasil	30
3.1.4	Estados Unidos	30
3.1.5	México	31
3.2	Cálculo de Volumen Equivalente	33
3.2.1	Colombia	33
3.2.2	Unión Europea	33
3.2.3	Brasil	33
3.2.4	Estados Unidos	34
3.2.5	México	34
3.3	Cálculo de Índice de Eficiencia Energética	35
3.3.1	Colombia	35
3.3.2	Unión Europea	36
3.3.3	Brasil	36
3.3.4	Estados Unidos	36
3.3.5	México	37
3.4	Comparación de Categorías de Eficiencia Energética	38
4	Discusión	39
4.1	Conclusiones	44
4.2	Producción Derivada	46
4.3	Trabajos Futuros	48
	Bibliografía	49

Lista de Figuras

1-1	Reducción estimada del consumo de Energía en refrigeración aplicando BAU y los CoNW MEPS hasta 2030, Adaptada de Molenbroek, E, Smith, M, Surmeli, N, Schimschar, S, Waide, P, Tait, J, and Mcallister, C (2015).	3
1-2	Flujograma de la Metodología Empleada.	7
2-1	Participación por sectores del consumo energético final en Lationamerica y el Caribe para el año 2020 adaptado de Organización Lationamericana de Energíaa (OLADE) (2020).	9
2-2	Etiquetas Energéticas para Refrigeración Doméstica en Colombia, UE y Chile. Adaptado de Ministerio de Minas y Energía (2015); Parlamento Europeo (2017); Letschert, Virginie E, Mcneil, Michael A, Pavon, Mariana and Lutz (2013)	10
2-3	Etiquetas Energéticas para Refrigeración Doméstica en México, Estados Unidos y Brasil.	11
2-4	Etiquetas Energéticas para Refrigeración Doméstica en Malasia, Paraguay y Ecuador.	11
2-5	Cantidad de patentes entre el 2002 y 2022 registradas con cogidos IPC y/o CPC F25D11/02. adaptado de LATIPAD (2022).	27
4-1	Distribución de los refrigeradores domésticos inventariados a nivel nacional según la clase climática: (a) Trópico [T] y (b) Subtropical [ST].	41
4-2	Consumo medio mensual de refrigeradores domésticos inventariados en la base de datos SICEX según la clase climática: (a) Tropical [T] y (b) Subtropical [ST].	42
4-3	Rangos de eficiencia para refrigeradores domésticos residenciales clasificados como tropicales [T].	43
4-4	Rangos de eficiencia de los refrigeradores residenciales clasificados como subtropicales [ST].	43
4-5	Propuesta de etiqueta energética para refrigeradores en Colombia.	44
4-6	Producto de Nuevo Conocimiento tipo Top Q1 Ramírez Sánchez u. a. (2022)	46
4-7	Producto de Divulgacion Publica de la CTeI. Desarrollo Web Incluir referencia de la pgina https://etiquetaenergia.com/	47
4-8	Producto de Divulgacion Publica de la CTeI - Publicaciones Editoriales no Especializadas	48

Lista de Tablas

1-1	Lista de regulaciones de etiquetado por país	8
2-1	Clasificación de Equipos de Refrigeración según los Rangos, Adaptado de . .	20
2-2	Rangos de eficiencia energética de equipos de refrigeración doméstica para Colombia del año 2021 al 2023.	21
3-1	Formulación del consumo de energía por tipo de frigorífico en USA	31
3-2	Estimación del consumo energético de diferentes equipos de refrigeración en México, adaptado de Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2012)	32
3-3	Formulación de cálculo de consumo energético en Colombia y países de referencia	32
3-4	Temperatura nominal nominal para refrigeradores brasileños.	34
3-5	Formulaciones de cálculo de volumen ajustado empleados en Colombia, UE, USA, Brasil y Mexico	35
3-6	Consumo energético en los Estados Unidos por tipo de refrigerador	37
3-7	Rangos de eficiencia energética para frigoríficos domésticos en Colombia, la Unión Europea, Chile y Brasil.	38

1 Introducción

En las últimas tres décadas (1992-2022) las naciones se han visto obligadas a buscar estrategias que permitan mitigar los impactos que se han derivado del uso intensivo de la energía. Soluciones y medidas que van desde lo social, político, económico y tecnológico, que buscan regular y optimizar los recursos energéticos y minimizar el impacto de los productos derivados de estos sin desmejorar la calidad de vida. Medidas como las abordadas desde los protocolos de Montreal en 1987, que se establece para controlar los gases que deterioraban la capa de ozono Secretaría del Ozono (2016); el de Kioto en 1997, que establece las medidas y estrategias para minimizar el efecto invernadero Naciones Unidas (1998). Adicionalmente, por medio de los acuerdos derivados del COP26 y el acuerdo de París del 2015, el cual busca reducir sustancialmente las emisiones de gases de efecto invernadero de tal forma que se logre controlar el aumento de la temperatura global máximo en este siglo a 2 °C, o de ser posible a 1,5°C, cada país firmante debe buscar las estrategias para cumplir los compromisos adquiridos y ser revisados cada cinco años. De igual manera, se establecen financiaciones a países en desarrollo para que se puedan adelantar las estrategias de mitigación del impacto del cambio climático Naciones Unidas (2015); Schloss, Miguel (2021). Para el año 2018, 3.6 billones de equipos relacionados con refrigeración y acondicionamiento de aire se encontraban en stock a nivel mundial (incluyéndose equipos de los sectores residencial, comercial e industrial), de los cuales el 45 % son refrigeradores domésticos University of Birmingham (2018). En este mismo año se presentaron 350 millones de equipos en venta, siendo los refrigeradores de uso domestico el 35 % de estos equipos University of Birmingham (2018). De acuerdo con el informe de la Agencia Internacional de Energía (AIE) el consumo eléctrico del sector residencial ha experimentado un crecimiento progresivo partiendo de 3.6 EJ (3.61018 J) en 1971 hasta alcanzar los 21.9 EJ en 2019 a nivel mundial y un consumo electrico correspondiente al sector residencial fue del 26.6 % IDEAM (2018). Para el 2025, se estima que la proyección de volúmenes de venta de refrigeradores domésticos llegará a los 236 millones de unidades a nivel mundial, lo que presupone un incremento en el consumo energético debido al uso de estos electrodomésticos y pone de manifiesto la necesidad de exigir que sean cada vez más eficientes IDEAM (2018).

El análisis del consumo energético en los hogares ocupa un sitio de especial interés dado el crecimiento presentado a partir de eventos como la pandemia covid-19 y el aumento del teletrabajo Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2020); Cheshmehzangi (2020); Tanides Carlos (2007). Estudios recientes muestran los tiempos promedios de uso de electrodomésticos en el hogar. Para el año 2021 el consumo energético en el área de

refrigeración estuvo cercano a los 235 billones de kWh en Estados Unidos y constituye el 16 % del total de consumo eléctrico a nivel residencial y el 6 % del consumo total de energía eléctrica del país. Los refrigeradores tienen un promedio de operación diario de 15,5h siendo dispositivos como la televisión, módem, PC, aparatos de multimedia manejan tiempos de operación de 12h - 42 min; la iluminación con 7 horas 58 min; el calentador de agua con 5 h 46 min entre otros Rosin, A, Auvaart, A, and Lebedev, D (2012).

En la Unión Europea los refrigeradores y congeladores representan un consumo energético cercano a los 86 TWh por año, lo que corresponde al 11 % del consumo de electricidad residencial Schleich und Brugger (2021). Por las razones antes mencionadas, la implementación de normas de eficiencia energética - MEPS por sus siglas en inglés (Minimum Energy Performance Standards) que establecen condiciones mínimas de desempeño, para disminuir el consumo energético en el sector residencial, se han convertido en una política de estado, tanto para países desarrollados como en vía de desarrollo International Energy Agency (IEA) (2020).

Los MEPS son aplicables a aparatos eléctricos tales como luminarias, refrigeradores, aires acondicionados entre otros, siendo estos de obligatorio cumplimiento por parte de los fabricantes y los comercializadores International Energy Agency (IEA) (2021). La aplicación de los MEPS aparte de tener fines comerciales, también se alinea con objetivos ligados a políticas medioambientales y a la normalización de consumos energéticos bajo condiciones particulares de operación para electrodomésticos y dispositivos en general, con las cuales están comprometidos los gobiernos de algunos países por medio de pactos internacionales, por ejemplo los Objetivos de Desarrollo Sostenible(ODS) Naciones Unidas (2018) y el tratado de la Carta de la Energía Secretaria de la Carta internacional de la energía (2015). La implementación de los MEPS ha contribuido hasta con un 5 % del ahorro entre el 2018 y el 2019 a nivel mundial Naciones Unidas (2018); Zhang, R. and Fu, Y. (2022).

La política de promoción de los MEPS ha evolucionado en las últimas dos décadas, estableciendo exigencias puntuales de reducción en el consumo de energía de los electrodomésticos Rahman, K, Leman, A, Mansor, L, Salleh, M, Yusof, M, and Mahathir, M (2016). En la Figura 1-1 se muestra la proyección en la reducción del consumo en kWh al 2030 a nivel mundial de algunos electrodomésticos de uso residencial entre los cuales se encuentra el refrigerador, donde el consumo «Business as Usual» (BAU) corresponde al consumo de energía por parte de electrodomésticos con las tecnologías actuales al 2030 y el consumo «Cost of Non World MEPS» (CoNW MEPS) corresponde al consumo proyectado aplicando las mejores tecnologías y políticas MEPS Molenbroek, E, Smith, M, Surmeli, N, Schimschar, S, Waide, P, Tait, J, and Mcallister, C (2015).

Los MEPS orientan al usuario para poder adquirir equipos más eficientes. De esta forma, estas políticas ayudan a la reducción de la demanda energética del sector residencial principalmente, dejando equipos obsoletos (poco eficientes) por fuera del mercado Mukhopadhyay, P and Chawla, H (2014). Como estrategia para aplicación de los MEPS surgen los programas de etiquetado con el fin de informar al consumidos acerca de características específicas de

los electrodomésticos. La implementación de estas políticas junto a los de etiquetado, han mostrado ser eficaces en la reducción de los Gases Efecto Invernadero (GEI), responsables del calentamiento global.

Adicionalmente al reducir el consumo final de electricidad, se logra disminuir la utilización de la inversión de capital en la infraestructura de abastecimiento energético como por ejemplo la construcción de centrales eléctricas y la reducción de materias primas como hidrocarburos usados para la generación de energía en plantas termoeléctricas disminuyendo así los impactos ambientales a largo plazo McNeil M, della Cava M, Blanco J, Quiros K and Lutz Wolfgang F (2008).

En la actualidad más de 80 países han implementado o están proceso de implementación de programas de etiquetado partiendo de las metas previstas por las diferentes naciones en temas relacionados con el cambio climático Lutz (2009). El objetivo final de la etiqueta en los electrodomésticos es describir el rendimiento energético de un producto para que el consumidor pueda tomar decisiones de compra y a su vez incentivar el uso racional de la energía eléctrica por medio de la adquisición de equipos eficientes Sasaki, H, Sakata, I, Wangjiraniran, W and Phrakonkham, S (2015).

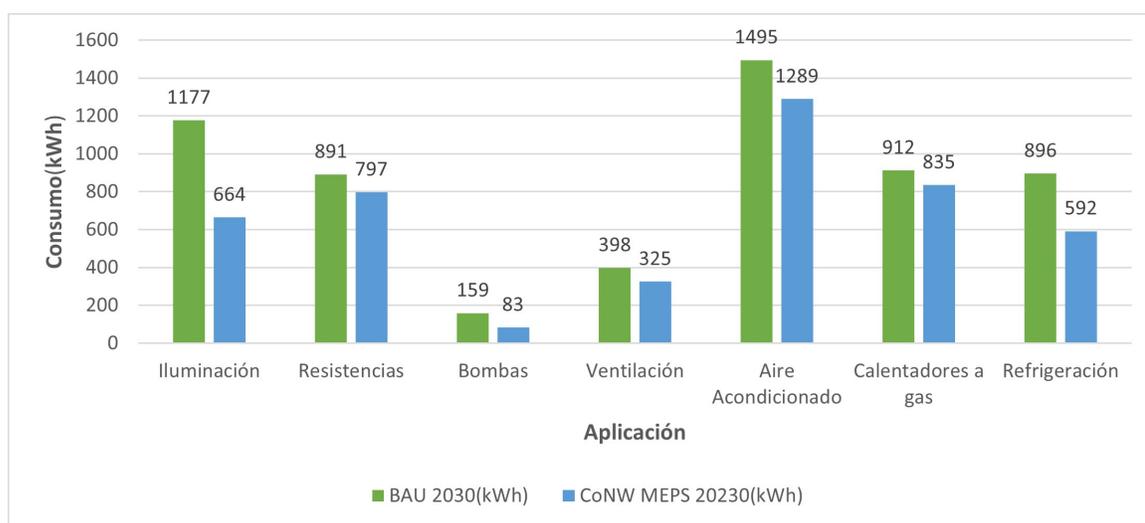


Figura 1-1: Reducción estimada del consumo de Energía en refrigeración aplicando BAU y los CoNW MEPS hasta 2030, Adaptada de Molenbroek, E, Smith, M, Surmeli, N, Schimschar, S, Waide, P, Tait, J, and Mcallister, C (2015).

Además de permitir al usuario controlar el gasto económico reflejado en la facturación por el uso de la energía eléctrica E (2005).

Las etiquetas propuestas en los diferentes programas pueden ser de dos tipos: de comparación y las de recomendación Ministerio de Industria Turismo y Comercio de España (2007). Las etiquetas de comparación suministran información al usuario sobre el desempeño de un producto específico y lo compara con el desempeño de otros productos de la misma

familia que existen en el mercado, son usadas comúnmente en diferentes países de Europa, Asia y Sur América. Las etiquetas de recomendación son conocidas también como sellos de garantía que generalmente están asociados a productos energéticamente eficientes, como es el caso de Energy Star. Esta última no compara productos, da a conocer que tan eficiente energéticamente es un dispositivo Gesellschaft für internationale (2019).

Las etiquetas informativas van adheridas en un producto manufacturado e incluyen características del consumo energético como son el consumo mensual o anual del equipo y su respectiva categoría Romero, J (2005). Este consumo y su dinámica de cambio son objeto de análisis permanente en el contexto internacional y nacional debido a su impacto multi-sectorial en aspectos sociales, económicos y ambientales.

En el contexto nacional, el sector residencial representó en el 2015 el 16,2 % del consumo total de energía final en Colombia, de este porcentaje se identificó que los principales consumos de energía se dan por refrigeración, televisión, iluminación y cocción Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2017). Según la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV), realizada en el año 2021 más del 80 % de los hogares colombianos contaban con al menos un refrigerador-congelador en uso, los cuales representan entre el 20 al 50 % del consumo eléctrico de los hogares colombianos Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) (2021). Por lo anterior, mejorar la eficiencia energética en el sector residencial, ha sido uno de los objetivos de la política de Uso Racional de Energía (URE) en Colombia, logrando un aumento de la eficiencia de los diferentes equipos electrodomésticos Ríos, J and Olaya, Y (2018). Actualmente, Colombia no cuenta con políticas MEPS, sin embargo en el año 2015 implementó el Reglamento Técnico de Etiquetado (RETIQ) Ministerio de Minas y Energía (2015), el cual establece medidas que fomentan el URE, en productos que usan energía eléctrica y gas combustible, mediante el establecimiento y uso obligatorio de etiquetas que informen sobre el desempeño en equipos asociados a producción de frío, iluminación, fuerza motriz y calor de proceso, especialmente enfocados al sector residencial y comercial.

La presente monografía hace parte de unos de los resultados del proyecto de investigación *«Estándares mínimos de desempeño energético, MEPS y de etiquetado para los equipos de uso final de energía con mayores consumos en el país. Línea temática 3 convocatoria energía sostenible y su aporte a la planeación minero-energética - 2020 Minciencias»* financiado con recursos del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Colombia (Minciencias) y desarrollado de manera conjunta entre la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá y Universidad ECCI. Esta investigación ha realizado una revisión y análisis de los MEPS en diferentes países referentes a nivel mundial y regional, en aplicaciones de refrigeración doméstica, proponiendo la actualización de los rangos de eficiencia energética y la información contenida en la etiqueta.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Analizar comparativamente los métodos de cálculo determinantes de los indicadores de la eficiencia energética en refrigeradores para proponer una actualización de los rangos de eficiencia de la etiqueta colombiana de los refrigeradores residenciales.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información nacional e internacional en fuentes primarias a través de bases de datos de artículos, normas y políticas relacionadas con eficiencia energética y MEPS.
- Identificar los principales parámetros de medición de eficiencia energética.
- Establecer semejanzas, ventajas y desventajas en la aplicación de las normas y políticas energéticas en otros países que conlleven a una actualización de los rangos de eficiencia energética.
- Proponer una modificación de la información consignada en la etiqueta energética para los refrigeradores residenciales colombianos.

1.2. Metodología

La metodología implementada para la recopilación y tratamiento de la información se dividió en 5 fases:

1. Búsqueda de información relevante.
2. Clasificación de información de acuerdo al tipo de documento.
3. Revisión de parámetros técnicos y recopilación de información acerca de eficiencia energética.
4. Identificación de políticas de etiquetado y MEPS de los países en estudio.
5. Análisis comparativo de indicadores de eficiencia energética en refrigeradores y finalmente la propuesta de etiquetado energético en equipos de refrigeración.

Esta metodología tuvo como objetivo lograr una propuesta de etiquetado que soportará el MEPS para refrigeradores domésticos en Colombia. En la figura **1-2**, se muestra el flujo-grama con la metodología completa. La primera fase “Búsqueda de Información relevante” realiza una exploración y recolección de información de fuentes primarias utilizando bases de datos académicas (Science Direct, IEEEEXPLORE, Google Scholar), técnicas (Ecollection) y gubernamentales tales como, SICEX, SUI y DANE, entre otras. En la segunda fase se realizó una clasificación de la información de acuerdo con el tipo de documentos encontrados, listándose de la siguiente forma:

- Artículos de investigación de Base de datos de académicos. Se consultaron investigaciones enfocados en el tema de eficiencia energética y tendencias tecnológicas para la refrigeración

doméstica en el periodo comprendido entre el 2005 al 2022.

- Documentos Gubernamentales de Colombia en Materia de eficiencia energética para refrigeración. Primer Balance de Energía Útil del 2019, realizado por la Unidad de Planeación Minero Energético UPME y el Ministerio de Minas y Energía Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2019). El Reglamento Técnico de Etiquetado RETIQ Ministerio de Minas y Energía (2015). Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética elaborado por la UPME Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2017), el Informe Final Evaluación Costo Efectividad de Programas de Eficiencia Energética en los Sectores Residencial , Terciario e Industrial presentado por la corporación para la energía y el medio ambiente CORPOEMA Corporación para la Energía y el Medio Ambiente (CORPOEMA) (2014), y a su vez el Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050 realizado por la UPME Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2015).

- Documentos Normativo de Países Referentes sobre eficiencia energética en refrigeración domestica utilizando una ventana de observación de 20 años (2001-2021). Se consultaron las normas técnicas asociadas al cálculo de la eficiencia energética en refrigeradores domésticos en los países considerados para la comparación, identificando las metodologías técnicas establecidas por cada país para determinar el consumo energetico y su etiquetado de los equipos refrigeracion de uso doméstico según la Tabla **1-1**.

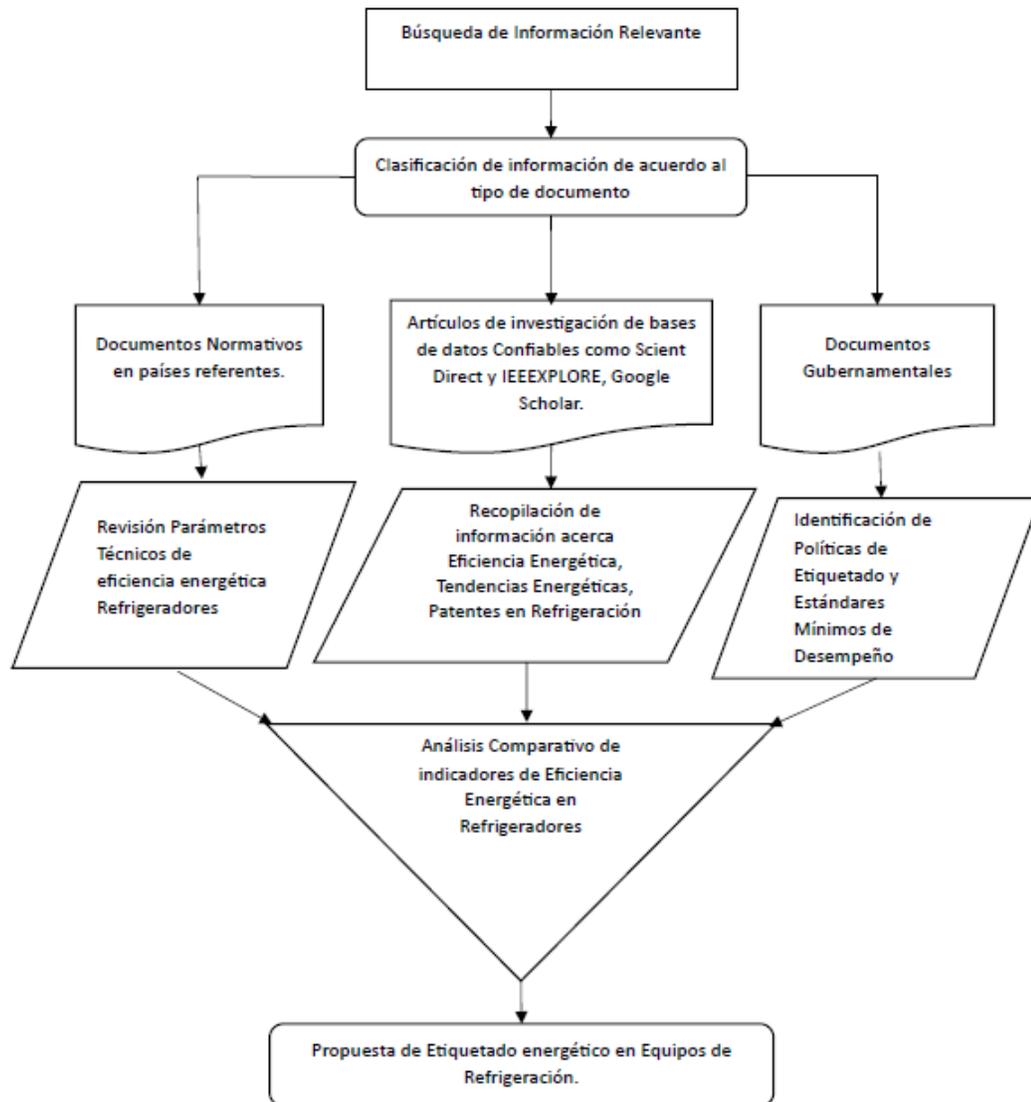


Figura 1-2: Flujograma de la Metodología Empleada.

En la tercera fase se realizó la revisión de parámetros técnicos como capacidad de los compartimentos (en litros), la tecnología de deshielo (Frost y no Frost), el tipo de compresor (Convencional o Inverter), el consumo de energía promedio en (kWh/mes) entre otros. De manera paralela se realizó la recopilación de información acerca de eficiencia energética, tendencias energéticas en refrigeradores y patentes otorgadas para desarrollos en el área de refrigeración utilizando la base de datos de patentes en español y portugués LATIPAT LATIPAD (2022). Dentro de la tercera fase también se realizó la identificación de políticas de etiquetado y MEPS de los países en estudio.

Finalizada la recopilación y revisión de información, normativas, características técnicas, MEPS tanto en Colombia como los países de referencia se procedió en la cuarta fase a realizar un análisis comparativo entre los diferentes métodos de cálculo y definición de categorías e

indicadores de eficiencia. Por último, en la quinta fase se proponen actividades tiempo y recursos para establecer un mapa de ruta con miras a la implementación de los MEPS en Colombia con la inclusión de una propuesta de una modificación de la etiqueta energética actual.

Tabla 1-1: Lista de regulaciones de etiquetado por país

País	Reglamento de Etiquetado o MEPS	Norma Técnica
Colombia	RETIQ	NTC-IEC 62552
Brasil	RTAC 002813	IEC 62552
Chile	NCh 3000:2006	IEC 62552
México	Norma Oficial Mexicana Nom-015-Ener-2018	El mismo reglamento de etiquetado
Unión Europea	Reglamento delegado (UE) 2016/2019 De La Comisión del 11 de marzo de 2019	El mismo reglamento de etiquetado
Estados Unidos	Parte 305- Uso de energía y agua Etiquetado de productos de consumo bajo la Ley de Política y Conservación de la Energía (“Regla de Etiquetado Energético”). Apéndice A, a la Subparte B de la Parte 430	El mismo reglamento de etiquetado
Ecuador	Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 035	IEC 62552
Paraguay	Norma Paraguaya NP 51 003 14 “EFICIENCIA ENERGÉTICA	UNIT 1138

2 Políticas de Etiquetado y MEPS

Los MEPS se han convertido en documentos gubernamentales de obligatorio cumplimiento para evaluar la eficiencia energética de diferentes equipos y así limitar el consumo mínimo de energía en aplicaciones domésticas, comerciales e industriales Jara, N (2018); Lutz (2009); Jara und Isaza-Roldan (2014). En la figura 2-1, se muestra el consumo por sectores en América Latina y el Caribe para el año 2020, en el que el sector transporte participa con un 34,8 % del total, seguido por el sector industrial (30,2 %) y el sector residencial (18,2 %). Otros sectores como el comercial y de servicios, el agropecuario y minero, construcción y otros, cubren en conjunto el 16,8 % restante.

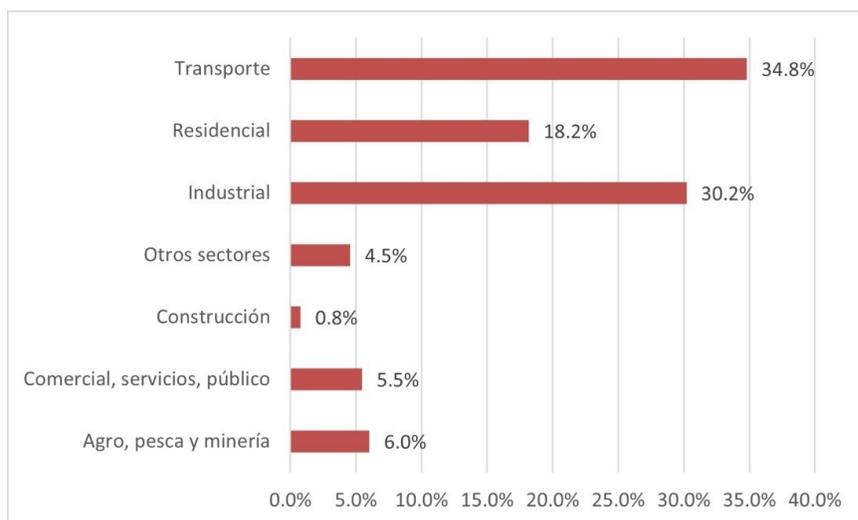


Figura 2-1: Participación por sectores del consumo energético final en Lationamerica y el Caribe para el año 2020 adaptado de Organización Lationamericana de EnergÍA (OLADE) (2020).

El refrigerador es uno de los electrodomésticos con mayor presencia en los hogares y se estima que consume anualmente un 6 % de la energía total en el mundo Ren, H, Tibbs, M, McLauchlan, C, Ma, Z and Harrington, L (2021), de allí la importancia de la implementación de los MEPS como métodos de control del consumo y de gasto energético que permitan controlar la distribución de productos pocos eficientes en el mercado, y con ello promover que los usuarios adquieran equipos, tomando como criterio de decisión la eficiencia por encima del costo. Los MEPS tienen como herramienta la implementación del etiquetado como

mecanismo para informar al usuario acerca del consumo energético y el índice de eficiencia del equipo que está adquiriendo. De esta manera, es posible hacer una proyección general del consumo energético del equipo y cómo este lo impactará económicamente. De igual forma, el etiquetado compromete al fabricante a suministrar información técnica relevante que permita evaluar la eficiencia energética del equipo adquirido bajo una normatividad técnica previamente establecida Bolaji (2010). En las figuras 2-2, 2-3 y 2-4 ilustran las etiquetas usadas por Colombia y los países de referencia, en estas se pueden observar algunas semejanzas y diferencias, como por ejemplo la etiqueta de la UE y Chile donde se observa que su categorización de la eficiencia energética es de la A++ a la G, en el caso de México adopta la etiqueta *Energy Guide* de Estados Unidos, también se puede notar que la etiqueta de la UE incorpora el índice de ruido del refrigerador.

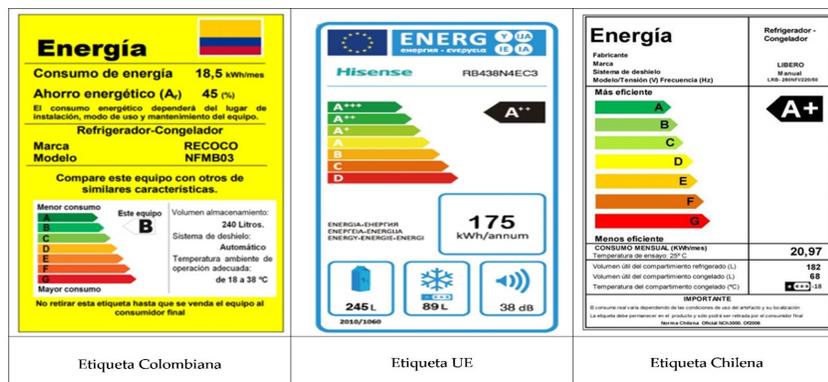


Figura 2-2: Etiquetas Energéticas para Refrigeración Doméstica en Colombia, UE y Chile. Adaptado de Ministerio de Minas y Energía (2015); Parlamento Europeo (2017); Letschert, Virginie E, Mcneil, Michael A, Pavon, Mariana and Lutz (2013)

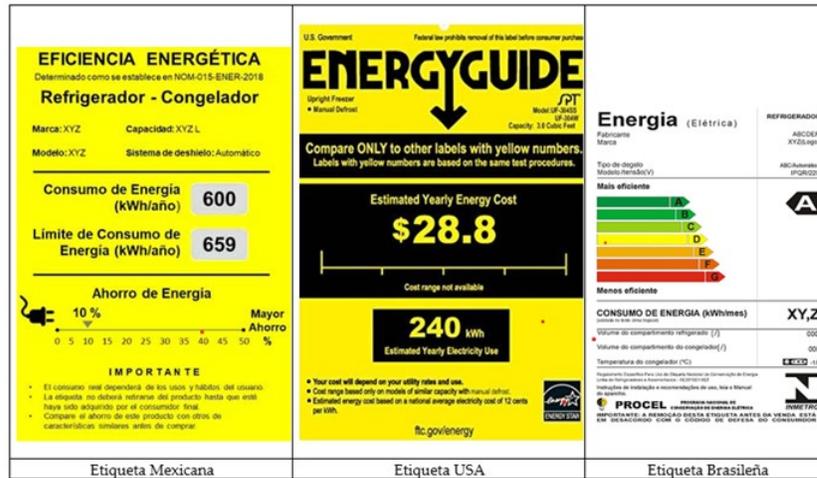


Figura 2-3: Etiquetas Energéticas para Refrigeración Doméstica en México, Estados Unidos y Brasil.

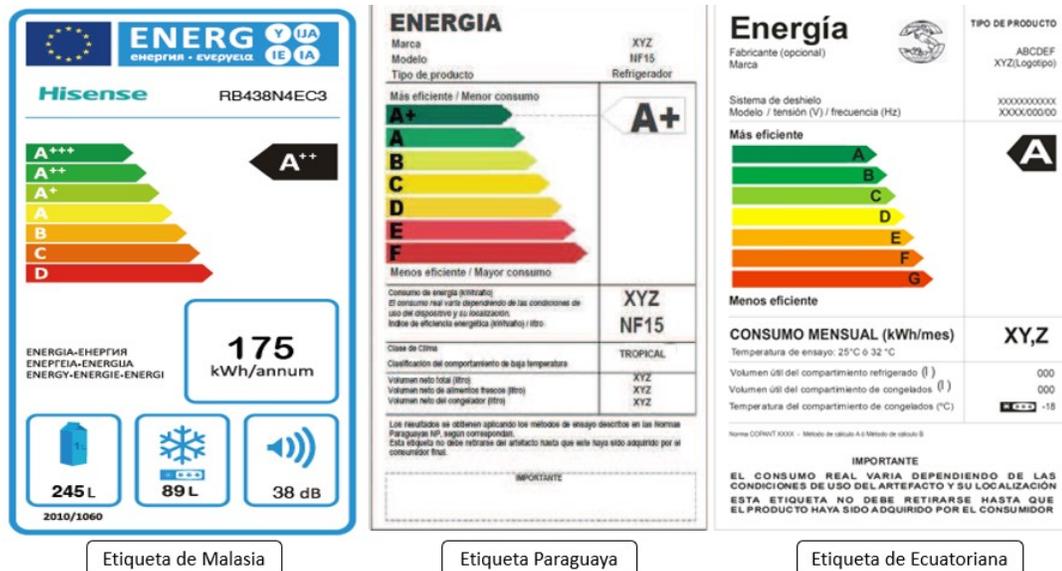


Figura 2-4: Etiquetas Energéticas para Refrigeración Doméstica en Malasia, Paraguay y Ecuador.

A continuación se presentan las políticas en refrigeración de los países que hacen parte de la UE y países del norte,centro y sur de América.

2.1. Unión Europea

En la Unión Europea la implementación del programa de etiquetado de electrodomésticos se presentó por primera vez en el año 1992 con la Directiva de la UE 92/75/EC, sobre la «Indicación Mediante Etiquetado e Información Estándar del Consumo de Energía y Otros Recursos por Parte de los Electrodomésticos». se establece entonces una clasificación inicial de clases desde la A hasta la G, en la categoría A representa el equipo con menor consumo de energía siendo el más eficiente y G sería la clase menos eficiente Goeschl (2019). Es de resaltar que la etiqueta no suministra el Índice de Eficiencia Energetica IEE dado por el fabricante sino la clase donde se encuentra el IEE. Posteriormente la UE migraría a una actualización de sus políticas de etiquetado cambiando la categorización de las clases de la etiqueta Ing Liang W and Krüger, E (2017). En el año 2000 surgieron nuevos equipos más eficientes, el Reglamento Delegado UE 1060/2010 incorpora las categorías A+, A++ y A+++ Diario Oficial de la Unión Europea (2010). En el año 2016, se actualiza nuevamente este Reglamento delegado del 2010, eliminándose las categorías de la E a la G y se adiciona la categorización de nivel ruido en la etiqueta Parlamento Europeo (2017), esta actualización endureció la distribución de los equipos menos eficientes en los países de la UE. La revisión preliminar del proceso de MEPS en Europa muestra que la implementación en los diferentes países de la UE no es igual, revelándose marcadas diferencias en razón a la promoción que hacen los gobiernos con relación con equipos eficientes y la salida subsecuente de equipos de mayor consumo del mercado. La razón de estas diferencias obedece según el criterio de algunos autores a la heterogeneidad en la composición del inventario de electrodomésticos entre países que influyen directamente la efectividad en la aplicación de los MEPS y las etiquetas energéticas Michel, A, Attali, S and Bush, E (2015); Schleich und Brugger (2021). A partir del 1 de septiembre del 2021 se ajustan las clases A+, A++ y A+++ Schubert, T, Breitschopf, B and Plötz, P (2021), generando confusión en la población. Además de los MEPS y el reglamento de etiquetado, la UE adoptó el «Plan de Cambio Climático» determinado por La Directiva 20/20/20 de Europa Parlamento Europeo y Consejo Europeo (2018), el cual tiene como objetivo principal disminuir en un 20% las emisiones de GEI, aumentar el 20% del uso de energía renovables y mejorar el 20% de la eficiencia energética de las edificaciones Faure, C, Guetlein, M and Schleich, J (2021).

Un indicador importante sobre la implementación de los MEPS en Europa es la mejora del 27% aproximadamente en la eficiencia de los aparatos de refrigeración doméstica en comparación con los niveles de eficiencia previos al etiquetado. Según los informes de la UE, el consumo de energía promedio de los refrigeradores disminuyó de aproximadamente 450 kWh/año en el periodo de 1990 a 1992 a un estimado de 364 kWh/año inmediatamente después de adoptarse los MEPS European Commission (2006).

De manera que las emisiones derivadas del uso de los electrodomésticos representó en el 2010 el 25% del total de emisiones, aumentando de manera equivalente a las emisiones producidas por el sector industrial Kelly (2012). Es así como el aumento creciente en la adquisición de

electrodomésticos en los hogares esta estrechamente relacionado con el aumento de GEI lo cual conlleva a crear nuevas políticas de control que ayuden a mitigar los efectos que producen el uso de los electrodomésticos residenciales Bertoldi, P and Mosconi, R (2015). Ejemplo de ello es la etiqueta comparativa, la cual tiene un alto impacto en los compradores de electrodomésticos y proporciona mejores decisiones en la adquisición de nuevos productos más eficientes Bertoldi, P and Mosconi, R (2020); Harrington, L, Aye, L and Fuller, B (2018); Stadelmann, M and Schubert, R (2018).

La UE enmarca los MEPS desde un enfoque más holístico a la hora de evaluar el desempeño energético de los equipos, lo que ha dado paso a la inclusión de normativas relacionadas con el eco-diseño, el cual busca la integración de aspectos ambientales en el diseño, elaboración, distribución, uso y disposición final del producto durante todo su ciclo de vida Zygierewicz2017 (2017); Foelster, A, Andrew, S, Kroeger, L, Bohr, P, Dettmer, T, Boehme, S and Herrmann, C (2016). Dentro de las novedades propuestas en el etiquetado energético, se cuenta con un enlace QR que amplía la información y proporciona más detalles del producto tales como sus materiales y procesos de fabricación en general. Adicionalmente, se ha propuesto incluir normas sobre la capacidad de reparación y la disponibilidad de las piezas de repuesto. Por último, se promueve la utilización de materiales reciclados en la fabricación de nuevos modelos. European comission (2021).

Un elemento adicional que se destaca en la etiqueta energética de UE es la inclusión del parámetro de ruido, que está ligado a investigaciones sobre el tema donde gracias a la aplicación de estrategias de diseño de los compartimientos y control de fluidos refrigerantes se logra la reducción de las emisiones de ruido y el mejoramiento de la calidad del sonido en los refrigeradores de tipo no-Frost que son los de mayor comercialización Marques, A, Gomez-Agustina, L, Dance, S, Hammond, E. and Wood, I. (2013); He, Z, Li, D, Han, Y, Zhou, M, Xing, Z and Wang, X (2021). La normativa sobre ruido que promueve la UE para equipos de refrigeración se extiende a otros dispositivos como los aires acondicionados es sin lugar a dudas un criterio importante que es considerado por parte de los usuarios al momento de compra no solo por aspectos de comodidad durante el trabajo de los electrodomésticos sino también por la estrecha correlación que existe entre la disminución del ruido y la eficiencia energética Héroux, M, Babisch, W, Belojevic, G, Brink, M, Janssen, S, Lercher, P, Paviotti, M, Pershagen, G, Wayne, K, Preis, A, Stansfeld, S, van den Berg, M and Verbeek, J (2015); Licitra (2015).

2.2. Malasia

En 1998, se realizó un estudio y se estimó que una familia promedio en una casa de bajo costo gasta alrededor de 65 Ringgit(MYR) alrededor de 17 dolares EE.UU por mes. El gasto de electricidad es de alrededor de 110 RM (unos 30 dólares EE.UU.) al mes para una casa de estrato medio, mientras que la electricidad puede subir a 350 myr (unos 92 dólares EE.UU.) al mes para una casa de estrato medio. El consumo de energía en el hogar dependería en gran

medida del tamaño de la familia, los habitantes, los electrodomésticos instalados, las horas de uso y la eficiencia del equipo. Evidentemente, el refrigerador es el mayor consumidor de electricidad en una típica casa adosada de Malasia de unos $180 m^2$ (38 %) Lutz (2009).

Este país ha experimentado un crecimiento significativo en el uso de refrigeradores congeladores domésticos, el cual representa el 38 % de la energía consumida en el hogar. La propiedad de refrigeradores-congeladores en los hogares aumentó debido al aumento de los ingresos familiares Abu Saleh Ahmed (2010). Las normas sobre electrodomésticos se hicieron populares justo después de la crisis del precio del petróleo en la década de 1970 Hormaeche u. a. (2008). Malasia siendo parte de la UE fueron con Estados Unidos los primeros países que implementaron estándares y etiquetas de eficiencia energética para electrodomésticos. Sin embargo, las investigaciones han demostrado que el gobierno europeo fue uno de los primeros en introducir una legislación para limitar el consumo de energía de los electrodomésticos durante los años sesenta y setenta de Normalizacion (2008); International Organization for Standardization (ISO) (2007). En cuanto al reglamento técnico de etiquetado de Malasia, este es casi una traducción fiel del reglamento europeo por lo tanto no se incluye en la Tabla 1-1.

2.3. Estados Unidos

Una de las principales limitaciones en la mejora de eficiencia de electrodomésticos estadounidenses de uso residencial es el alto costo en la adquisición de nuevas tecnologías por parte de los fabricantes para la producción de equipos más eficientes. Una de las estrategias para abordar esta barrera es implementado incentivos tanto para fabricantes como para consumidores, disminuyendo el costo de producción y adquisición de equipos Bansal, P, Vineyard, E and Abdelaziz, O (2011). Mecanismos como programas de etiquetado de electrodomésticos (MEPS) han influenciado en la compra por partes de los usuarios de refrigeradores más eficientes. Estudios como el de Norzalina Zainudina et al muestra que existen relaciones estrechas entre la concienciación, el conocimiento, la actitud, la norma social y la etiqueta de eficiencia energética que influyen a los usuarios en la desicion para la adquisicion de nuevos aparatos de refrigeracion Zainudin, N, Siwar, C, Choy, E and Chamhuri, N (2014). En Estados Unidos, las primeras normas de MEPS fueron aplicadas en 1974 para refrigeradoras a nivel estatal. Sin embargo hasta el año 1978 a través del National Energy Conservation Policy Act (NECPA), estableció la obligatoriedad de estándares mínimos a nivel nacional, entre los años de 1974 y 2004 se presentó una reducción en el gasto de energía del 74 % ligado a la implementación de medidas como los MEPS Vieira de Carvalho, A, Rojas, L, Mendez, P, Flamand, S, Couture-Roy, M, Langlois, P and Dufresne, V (2015). Este país implementó en el año 1992 el sello de *Energy Star* como medida complementaria a los MEPS que representa el esfuerzo gubernamental más importante del país y que representaría un ahorro en los costos de electricidad de los hogares de 164 millones de dólares al año y una reducción de las emisiones de carbono de aproximadamente 1,1 millones de toneladas métri-

cas al año Boyd, G, Dutrow, E and Tunnessen, W (2008); Murray, A and Mills, B (2011). En el desarrollo de programas de etiquetado surge la etiqueta Energy Guide (etiqueta de comparación) administrada por la Comisión Federal de Comercio (FTC) Posteriormente, en el año 2001 el Departamento de Energía (DOE) en compañía de la Agencia de protección Ambiental (EPA), se encargan de ejercer control sobre la etiqueta Energy Star Hirayama, S, Nakagami, H, Murakoshi, C and Nakamura, M (2008). A finales del año 2001 se creó el Grupo de Trabajo de Energía de América del Norte (NAEWG), con el objetivo de mejorar la comercialización, desarrollo e interconexiones de América del Norte, los países participantes México, Canadá y Estados Unidos, crearon este grupo de trabajo específicamente para estudiar y mejorar las políticas, la eficiencia energética, la energía renovable, la energía limpia y la energía nuclear en los países que hacen parte Wiel, S, Van, Laura and Lloyd, H (2004). La eficiencia energética se ha convertido más que una política en una estrategia vital en el sector energético de los países mencionados. La etiqueta de comparación se propone como una medida obligatoria y la etiqueta Energy Star tuvo un carácter voluntario. Para el 2020 Energy Star estableció actualizaciones en cuánto las metodologías de ensayo y pruebas Karkova, Monika (2021).

2.4. México

El consumo de energía en el sector residencial en México ha tenido un aumento considerable en los últimos años, estudios revelan que la cocina es el principal factor de uso final de energía representando el 17 % de energía de uso final Morillon, G, Rosas, A and Flores, D (2010). Se han buscado estrategias para suplir la demanda de las diferentes regiones del país por medio de herramientas que impliquen el uso de fuentes de energía renovables y desarrollando nuevos estándares de eficiencia energética que puedan ser aplicados en las políticas gubernamentales para el control del uso de la energía Bansal (2003).

En 1992 se da inicio al Sistema Mexicano de Normalización de Eficiencia Energética con la Ley Federal de Metrología y Normalización, coordinado por medio del Comité Nacional Consultivo de Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energéticas NOM, que de acuerdo a la Ley Federal son obligatorias y denominadas “Nom-Eener” Lutz (2009), que establecen los procedimientos de prueba y los estándares mínimos de eficiencia energética, así como los requisitos de etiquetado Jara, N (2018). En el año 2002 se estableció la norma Nom-015-ener-2002 que fija los parámetros de evaluación de eficiencia energética de refrigeradores y congeladores, los límites, métodos de prueba y etiquetado Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2003). La etiqueta usada en México es adaptada del modelo de la guía energética de Estados Unidos, incluyendo una escala continua que indica los ahorros relativos del producto con respecto al umbral definido por la norma Lutz (2002). En el año 2012 la Comisión Nacional Para el Uso Eficiente de Energía (CONUE) promulga la actualización de la Nom-Eener-2002 donde reajusta los parametros máximos de consumo de energía de los refrigeradores y congeladores de uso doméstico operados por motorcompresor

hermético de acuerdo al tipo de refrigerador y su sistema de deshielo Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2012).

A partir del año 2018 se encuentran vigentes 29 normas, entre las que se incluyen normas para aparatos de refrigeración, así como normas que controlan las emisiones de CO_2 y eficiencia de combustible de automóviles. Además del programa de normas y etiquetado obligatorio de la CONUEE, el Fondo Fiduciario para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) ofrece la posibilidad a los fabricantes de adquirir una etiqueta de aval sello FIDE para los equipos que excedan el nivel mínimo de eficiencia energética definido por la NOM Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) (2018); Secretaría de Energía (SENER) (2018). Para ese mismo año se publica la Nom-015-Ener-2018 y el Programa de Sustitución de Refrigeradores Viejos e Ineficientes por modelos modernos y de alta eficiencia. buscando un ahorro de 4,7 TWh/año , una disminución del consumo total de electricidad residencial de un 9,9% y el gasto asociado disminuye en un 11,3% EIA (2021), Arroyo, G, Aguillon, J, Ambriz, J and Canizal, G (2009), Jara, N (2018). Adicionalmente, el subsidio eléctrico disminuye 7500 millones de pesos mexicanos al año (es decir, 403 millones de dólares a la tasa de cambio promedio registrado en 2017) y se produce una disminución anual de 3,9 millones de toneladas de emisiones de CO_2 equivalente Hancevic, P and Lopez J (2019).

2.5. Chile

A principio del 2005, el gobierno chileno estableció el Programa de Normas y Etiquetado de Eficiencia Energética (PPEE). Este fue uno de los proyectos de eficiencia energética más visibles y completos de la región, en el 2007 surge el etiquetado de eficiencia energética y con ello el primer programa de uso racional de energía “Usa Bien la Energía, Sigue la Corriente” creando mesas regionales de eficiencia energética y comenzando con el diagnóstico de diversos sectores productivos del país Onofri Salinas (2020). En el año 2008 se realizó la implementación del etiquetado energético para refrigeradores-congeladores, de acuerdo a los estándares de eficiencia ISO15502 International Organization for Standardization (ISO) (2007), IEC60335-2-24 Standardization International for Organization (ISO) (2002) y acorde a la norma chilena NCh3000 Letschert, Virginie E, Mcneil, Michael A, Pavon, Mariana and Lutz (2013).

Posteriormente, el ministerio de energía recibió asistencia técnica de la División de Tecnologías de Energía Ambiental del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBNL) y emitió en el año 2012 el reglamento que define los criterios y procedimientos que se aplicarán para establecer MEPS. La regulación requiere, entre otras cosas, la elaboración de una evaluación de impacto regulatorio y procedimientos de consulta y coordinación entre las entidades gubernamentales y el público Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) (2017). En el año 2014 se estableció resolución No. 64, que aprueba el reglamento que establece los parámetros para la realización de las etiquetas de consumo energético y normas necesarias para su aplicación. En el informe de seguimiento del 2016 el gobierno de Chile reafirma su

compromiso de que el 100 % de los electrodomésticos comercializados sean equipos energéticamente eficientes tal y como se promueve en una las metas al año 2050. Para el año 2018 el consumo total de refrigerantes en el sector de refrigeración doméstica y acondicionamiento de aire alcanzó el 70 % del benchmarking de sustancias en Chile Kigali Cooling Performance Program (2020); Ministerio de Energía Gobierno de Chile (2016).

Estudios más recientes muestran como el gobierno chileno se ha orientado en campañas de enfoque al diagnóstico de la situación actual sobre el sector de la refrigeración a partir de cuantificación de equipos es así como en el año 2019 se estimó el parque instalado de refrigeradores en Chile dentro del Informe de Línea de Base para el proyecto “Acelerando la Transición a un Mercado de Refrigeradores Eficientes en Chile”. En este programa de cuantificación de equipos de refrigeración y sus características subyacentes se tuvo en cuenta una cantidad de 6,8 millones de refrigeradores congeladores que hacían parte del parque instalado para el año 2019, de los cuales el 43 % pertenecían a la clase de eficiencia energética B o menor. Como se indicó anteriormente en la figura **2-2**, las clases de EE predominantes son la clase A+ y la clase A con un 28 % y un 25 % de participación respectivamente como tipo de refrigerante y clase de eficiencia se partió de un análisis del mercado de importaciones e interno con la inclusión de extrapolaciones de datos de ventas desde el año 2016. El enfoque principal de dicha cuantificación es fijar políticas para evaluar y mitigar el impacto de refrigerantes que son expulsados a la atmósfera por parte de equipos de baja eficiencia energética Volker, K, Hirsch, M, and Delgado, F (2021).

Actualmente los requisitos de etiquetado se basan en normas de etiquetado energético publicado como Normas Oficiales Chilenas, y se introducen con carácter obligatorio mediante protocolos y resoluciones emitidas por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). La SEC se encarga de la adaptación a la condiciones chilenas de ensayos relacionados con el etiquetado basados en normas internacionales y que es aplicable a productos adicionales tales como: vehículos motorizados, calderas del sector minero industrial entre otros Programa de Estudios e Investigaciones en Energía (2010).

2.6. Brasil

Como antecedentes del gasto energético producido en el sector residencial, desde 1980 el gobierno de Brasil ha trabajado en políticas que disminuyan las pérdidas de energía y en programas que incentiven la eficiencia energéticas en los equipos de uso final, en 1993 el Programa Nacional de Conservación de Energía (PROCEL) introduce de forma voluntaria el programa de etiquetado, donde adopta una clasificación energética de la A a la E, siendo A la categoría más eficiente y E la categoría menos eficiente Nogueira, L, Cardoso, R Balbino Cavalcanti, C and Leonelli, P (2015). Una década más tarde, surge el Programa Brasileiro de Etiquetado (PEB), incorporando de forma obligatoria las etiquetas, teniendo como objetivo principal informar al consumidor sobre características específicas del consumo, la temperatura, e información adicional, tales como: marca, modelo, el tipo de descongelación, el tamaño

del refrigerador (generalmente en litros), el tamaño y la temperatura del congelador, a los usuarios finales. Es de resaltar que la forma de las etiquetas implementadas en Brasil, están basadas en el modelo estadounidense, adaptando la etiqueta Energy Guide Huse, C, Lucinda, C and Cardoso, A (2020).

En el año 2013 el consumo de energía en los hogares representó alrededor del 9 % del consumo total de energía en Brasil y supuso unos 994 PJ en comparación del 2005, Brasil es considerado como uno de los países pioneros en programas relacionados con el cambio climáticos, adquirió el compromiso de la reducción de su huella de carbono entre el 36 y el 39 % para el 2020, huella de carbono que tiene como gran aporte el consumo del sector residencial Sanches, A Tudeschini, L and Coelho, S (2016). Debido al alto gasto de energía por parte de los refrigeradores de uso residencial en el 2007 se establecieron los estándares mínimos de eficiencia energética para refrigeradores, tomando como punto de partida la “Ley de Eficiencia Energética” promulgada en el 2001 Conrado, A and de Martino Jannuzzi, G (2010). En este año se logró ahorrar aproximadamente 1379 GWh en el consumo de energía y una reducción de 197 MW en la demanda brasileña como resultado del etiquetado de eficiencia en refrigeradores y congeladores Ministério da Economia/Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2021). Como consecuencia de las políticas de etiquetado y MEPS introducidas en Brasil en el año 2009 surgen políticas complementarias al etiquetado como el programa nacional de intercambio de refrigeradores que pretenden e incentivan la sustitución de refrigeradores ineficientes con refrigeradores nuevos más eficientes Cardoso, R, Nogueira, L and Haddad, J (2010). El consumo anual de energía producida en el año 2010 por los refrigeradores fue de 182,8 GWh, y de acuerdo con las proyecciones realizadas, los impactos futuros de la Ley de Eficiencia Energética se estima que el ahorro de energía será de 14,325 GWh en 2030, lo cual representa el 9 % de la capacidad actual instalada para la generación de energía eléctrica en el año 2010 Nogueira, L, Cardoso, R Balbino Cavalcanti, C and Leonelli, P (2015). De acuerdo con el Comité Gestor de Indicadores de Eficiencia Energética (CGIEE), estos estándares deben someterse a un proceso de revisión cada dos años, actualizándose por última vez en el 2011 Gonzalez, R, Lucena, Andre, Garaffa, R, Miranda, R, Chavez, M, Cruz, T, Bezerra, P and Rathmann, R (2019). Desde el año 2013, el sello PROCEL se había aplicado a más de 36 categorías de productos de más de 150 fabricantes de electrodomésticos Vieira de Carvalho, A, Rojas, L, Mendez, P, Flamand, S, Couture-Roy, M, Langlois, P and Dufresne, V (2015). Brasil cuenta con el programa de conservación de la energía eléctrica (PROCEL) que opera en varias áreas, tales como Sello Procel, industria, edificaciones, gobierno y alumbrado público. Desde la promulgación de la Ley 13 280/2016, PROCEL ha podido contar con los proveedores de energía para dedicar el 20 % de sus recursos destinados a la eficiencia energética, a través del Plano de Aplicación de Recursos del Procel Agencia Internacional de Energía (2019). Para el año el 2018, el 7,3 % del uso final de la energía estaba cubierto por políticas obligatorias de ahorro de energía International Energy Agency (IEA). Con la implementación de acciones de PROCEL se logró ahorrar un total de 23 TWh que en el consumo energético de Brasil fue equivalente al 4,87 % del consumo para el 2018

Agencia Internacional de Energia (2019).

2.7. Paraguay

En la actualidad la mayor parte de países del cono sur de América promulgan programas de etiquetado que regulan la oferta de electrodomésticos en el mercado según clasificación de su Eficiencia Energética. Los equipos en el mercado son de producción nacional o importados. Es posible diferenciar tres grupos de países en términos de servicios: (a) países con un mercado de gran escala que producen, exportan e importan productos eléctricos (Argentina, Brasil, Colombia, México); (b) países con mercados limitados, con pequeña producción y exportaciones, pero con una importante importación de productos eléctricos (Chile, Cuba, República Dominicana, Ecuador, Guatemala, Perú, Uruguay); y (c) países con mercados limitados que solo importan productos eléctricos (Bolivia, países del Caribe, países de Centroamérica, Paraguay) Kyriazis Gregory A. und Christian (2021). Sin embargo la gran mayoría de países de Sudamérica tienen programa de etiquetado de tipo comparativo y de cumplimiento obligatorio, excepto Perú, Bolivia y Paraguay, donde el etiquetado es de tipo voluntario, que regulan el mercado de electrodomésticos Gesellschaft fur internationale (2019). El Instituto Nacional de Normalización INTN ha emitido recientemente normas en materia de etiquetado energético. En julio de 2013, se emitió una norma que define el diseño general del etiquetado, en aquel año se definió un borrador de norma de etiquetado para refrigeradores/congeladores. Estos estándares, que aún son voluntarios, están influenciados por los respectivos estándares y regulaciones de etiquetado anteriores de la UE, Colombia, Argentina y Chile. Se están debatiendo proyectos de normas de etiquetado para lámparas incandescentes y fluorescentes Lutz (2009).

Paraguay no ha adoptado una regulación de obligatorio cumplimiento debido a que el mayor porcentaje de los productos comercializado en el país son importados y se basan en la regulaciones de los países de las regiones Gesellschaft fur internationale (2019).

2.8. Ecuador

Las políticas de regulación energética en refrigeración se dieron inicio en el año 2008 con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 035, el cual aplica tanto para refrigeradores como congeladores (850 litros maximos) de Normalizacion (2008). Ecuador usa el concepto de Consumo de Energía de Referencia CER para categorizar los equipos de refrigeración como se ilustra en la Tabla 2-1, el consumo de energía de referencia y se define como la relación lineal entre el volumen ajustado expresado en litros y el consumo de energía expresado en kWh/año.

Tabla 2-1: Clasificación de Equipos de Refrigeración según los Rangos, Adaptado de

Rango	Espacio comprendido entre CER_i y el CER_{i+1} incluido	Rangos de Consumo Energetico	
		Limite Superior(%)	Limite Inferior(%)
A	CER_0 y el CER_1	67.5	0
B	CER_1 y el CER_2	77.5	67.5
C	CER_2 y el CER_3	92.5	77.5
D	CER_3 y el CER_4	107.5	92.5
E	CER_4 y el CER_5	122.5	107.5
F	CER_5 y el CER_6	132.5	122.5
G	CER_6 y el CER_α y el infinito	α	132.5

En el 2011 el reglamento RTE INEM 035, permitió solamente la comercialización de aparatos de refrigeración de rango energético A.

En el año 2014 las políticas ecuatorianas adoptan los métodos de ensayos de la se realiza de la norma NTE INEN-IEC 62552, aplicada para refrigeradoras de fabricación nacional y para refrigeradoras que son importadas, en esta norma se establece los procedimientos y requisitos que deben contener los valores de consumo de energía de referencia (CER) y los rangos de consumo de energía que presentan los refrigeradores, también se determina el contenido de la etiqueta de consumo de energía para todos los tipos de equipos refrigeradores de uso doméstico Organización Lationamericana de EnergÍA (OLADE) (2020). El Gobierno por medio del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable – MEER, trazo nuevas formas de controlar el consumo de energía, sustituyendo equipos con 10 años de uso por equipos nuevos y categorizados eficientemente altos por medio de un proyecto de sustitución de equipos ineficientes especificado en el decreto N° 741 de 21 de 2011, mecanismo que objeta el reemplazo de 330.000 refrigeradores de consumo ineficiente con mas de 10 años de vida útil por otras de alta eficiencia (rango A), de un volumen de enfriamiento entre 280 y 340 litros (10 a 12 pies cúbicos), para lo cual se está entregando un estímulo a los usuarios del sector residencial que consuman hasta 200 kWh por mes, con esto se lograra reducir la demanda del sector residencial y reducir las emisiones de CO_2 Jara und Isaza-Roldan (2014).

2.9. Colombia

En Colombia, el sector residencial representó el 40 % del consumo eléctrico en el año 2015, de este porcentaje los refrigeradores representan el 43,25 % del consumo final de electricidad de los electrodomésticos Ríos, J and Olaya, Y (2018); Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2015). En el 2015 se lanzó el Reglamento Técnico de Etiquetado RETIQ, estableciendo la etiqueta energética para electrodomésticos de uso residencial y una etiqueta

informativa para equipos de uso comercial. Se estipulan siete categorías de eficiencia energética de la A hasta la G siendo la A la de mayor eficiencia y la G la menos eficiente. A partir del 1 de septiembre del 2023, la última categoría desaparece, y con ella, los refrigeradores domésticos así categorizados. En la Tabla 2-2 se pueden ver los rangos de eficiencia energética y los niveles de ahorro relativo con los cuales se categorizan los equipos de refrigeración doméstica para el año 2021 y la perspectiva hacia el año 2023 Ministerio de Minas y Energía (2015).

La revisión de referentes históricos en Colombia muestra que han habido algunos programas que ofrecen directamente incentivos para reemplazar y desechar refrigeradores viejos, tales como “Entrégala y Ahorra”, que incentivaba a la sustitución de cerca de un millón de refrigeradores que tuviese un promedio de 10 años de uso o más. Dicha iniciativa se promulgo por medio del decreto 2143 del 2017, que entre otros lineamientos estableció un Impuesto al valor agregado (IVA) del 5 % en reemplazo del 19 % por la compra de equipos eficiente y amigables con el medio ambiente Ministerio de Minas y Energía (2017); Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2018).

En el año 2017 el ministerio de minas y energía definió las acciones estratégicas y sectoriales a seguir con el objetivo de alcanzar las metas adoptadas por Colombia en materia de eficiencia energética por medio del Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética – PAI PROURE 2017 – 2022. Dentro se presentan las características de consumo de los sectores transporte, industrial, comercial, público y de servicios y residencial; los potenciales de eficiencia energética por sector y uso energético; y las estrategias y acciones identificadas para el cumplimiento de las metas del país Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2017).

Tabla 2-2: Rangos de eficiencia energética de equipos de refrigeración doméstica para Colombia del año 2021 al 2023.

Rango de Eficiencia Energético	Colombia		
	Ahorro relativo A_r %	Ahorro relativo A_r %	Ahorro relativo A_r %
Vigencia	Hasta 31 de 2021	Desde septiembre del 2021	Desde septiembre 1 del 2023
A	$A_r \geq 56$	$A_r \geq 67$	$A_r \geq 67$
B	$56 > A_r \geq 45$	$67 > A_r \geq 56$	$67 > A_r \geq 56$
C	$45 > A_r \geq 35$	$56 > A_r \geq 42$	$56 > A_r \geq 42$
D	$35 > A_r \geq 25$	$42 > A_r \geq 25$	ELIMINADO
E	$25 > A_r \geq 15$	ELIMINADO	ELIMINADO
F	$15 > A_r \geq 5$	ELIMINADO	ELIMINADO
G	$5 > A_r \geq -20$	ELIMINADO	ELIMINADO

El etiquetado para los equipos de refrigeración se referencian datos de consumo al mes kWh/mes, el ahorro (A_r) en %, volumen de almacenamiento en litros, sistema de deshielo, temperatura ambiente de operación y temperatura mínima °C, como se muestra en la figura

4. En el marco de convenios internacionales tales como la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se establece como una de las prioridades la promoción del uso de electrodomésticos e iluminación eficientes además de energía asequible y no contaminante tal y como es formulado en el objetivo siete de los ODS Naciones Unidas (2018). Para estar acorde a estas iniciativas internacionales el RETIQ está en proceso de actualización conforme a normativas técnicas internacionales como la IEC 62552 con el ánimo de mejorar en los consumos de energía International Electrotechnical Commission (IEC) (2015a, 2020, 2015b). La norma IEC 62552 aborda cerca de 11 tipos de pruebas y ensayos, dentro de las cuales se tienen algunas como hermeticidad de puertas y sellos de gaveta, temperaturas de almacenamiento de acuerdo con la clase climática a la que corresponden, pruebas de condensación del vapor de agua y evaluación de consumo energético mediante un plan de carga en los compartimientos congelador y de alimentos con paquetes de ensayo de diferentes pesos y alternancia en tiempos de congelación y recuperación International Electrotechnical Commission (IEC) (2015a).

2.10. Estado del Arte de la Eficiencia Energética en Refrigeración Residencial

En cuanto a tendencias tecnológicas presentes en los refrigeradores, la industria ha buscado mejorar la eficiencia, obteniendo por tanto un menor consumo energético. Al desarrollar un nuevo refrigerador o proponer un modelo más eficiente, se busca que el dispositivo enfríe con mayor rapidez y con un menor consumo de energía, de forma más silenciosa, con la capacidad de mantener la temperatura del producto más estable, que haya sido fabricada con materiales reciclables o de bajo impacto ambiental, que tenga un costo accesible Xia, Y, Liu, Y, Liu, Y, Ma, Y, Xiao, C and Wu, T (2014); He, Z, Li, D, Han, Y, Zhou, M, Xing, Z and Wang, X (2021). La función principal de los refrigeradores es conservar los alimentos frescos, y en algunos casos son muy utilizados en la creación de cadenas de frío para ciertos productos, como vacunas y productos cárnicos, preservando las condiciones de calidad y seguridad Gonzalez, R, Lucena, Andre, Garaffa, R, Miranda, R, Chavez, M, Cruz, T, Bezerra, P and Rathmann, R (2019); (2018).

Que depende de factores como la temperatura ambiente, la capacidad de aislamiento y la carga térmica de los alimentos. Los compartimientos de los alimentos deben mantener una temperatura promedio de 4°C, y los compartimientos de congelación una temperatura comprendida entre -6 a -24 °C, sin embargo mantener estos rangos de temperaturas depende mucho del comportamiento de los usuarios Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) (2016). Es así como hábitos relacionados con la frecuencia de apertura de las puertas de los compartimientos de un refrigerador influyen directamente en la eficiencia energética del mismo. Con respecto a este factor ligado a la frecuencia de apertura y cierre de las puertas existen investigaciones que estudiaron los hábitos de uso de los refrigeradores por

parte de los usuarios y que concluyen que gracias a la implementación de controladores de aprendizaje automáticos de acuerdo a los hábitos de los usuarios regulan las temperaturas de los compartimientos generando una reducción del 3% en consumo de energía en función a la frecuencia de apertura de las puertas Kapici, E, Kutluay, E and Izadi, R (2022).

Por otra parte, los fabricantes buscan brindar a los consumidores la fiabilidad de adquirir aparatos de refrigeración eficientes, innovando en sus procesos de fabricación y optimización de recursos, con los cuales han logrado mejorar el sistema de refrigeración, sus componentes, materiales, procesos de fabricación, etc. Estas innovaciones permiten tener disponibles refrigeradores que consuman hasta un 60% respecto a refrigeradores de consumo estándar Escuela de Ingeniería Eléctrica and Universidad de Costa Rica (2008); Harrington, L, Aye, L and Fuller, B (2018). Las investigaciones recientes en refrigeración doméstica se han enfocado en varios factores como, por ejemplo: el aislamiento térmico, la eficiencia del ciclo de refrigeración según su refrigerante y los sistemas de control del equipo. Algunas de estas se detallan en las subsecciones siguientes.

2.10.1. Aislamiento Térmico

En materia de aislamiento térmicos se evidencia que las neveras poco eficientes usan resina de poliuretano (PU) como aislante térmico que con el transcurso del tiempo pierden su capacidad como aislante y sumado a ello está el gran impacto ambiental que se genera, por lo anterior la selección adecuada del aislante del refrigerador implica una mejor eficiencia térmica y un aporte importante en la reducción de la contaminación ambiental y su impacto al medio ambiente Hossieny u. a. (2019). En trabajos experimentales como los de Kumar y Reddy [108], se plantea la utilización de un material aislante alternativo como el caucho de nitrilo obteniéndose resultados que muestran que el efecto de refrigeración del sistema aumenta con el caucho de nitrilo (190 kJ/kg) como material aislante en comparación con el PU (177 kJ/kg) y lana de vidrio (175 kJ/kg). De manera adicional el trabajo del compresor se reduce al usar caucho de nitrilo debido a su alta capacidad aislante en comparación con PU y lana de vidrio Kumar, K, Reddy, B and Chandra M (2021); Poveda (2007).

2.10.2. Refrigerante

Con respecto a los avances tecnológicos que se han tenido en materia de fluidos de trabajo usados en los refrigeradores domésticos, se ha buscado la sustitución de elementos que agotan la capa de ozono y aquellos que contribuyen al aumentar los gases de efecto invernadero presentes en los refrigerantes de tipo clorofluorocarbonados (CFC), hidroc fluorocarbonados (HCFC), hidrof luorocarbonados (HFC) tales como los refrigerantes R22, R12 y R134a usados comúnmente en los refrigeradores domésticos Calm (2006). Ligado a este proceso de sustitución se observa la implementación de refrigerantes a base de hidrocarburos (HC), tal es el caso del trabajo de Isaza y Jara en el 2015, que proponen cambiar el refrigerante R134a

de tipo HFC por el refrigerante R600a que es un isobutano de tipo hidrocarburo. En esta investigación ambos refrigerantes fueron sometidos a características similares de operación, y se calcularon los coeficientes de rendimiento para cada tipo de refrigerante Isaza, C and Jara, N (2015). Como resultado se obtuvo que los refrigerantes HC son la mejor opción para reemplazar los refrigerantes de tipo HFC debido a su bajo tiempo en la atmósfera (< 12 meses) y su bajo potencial de calentamiento atmosférico (< 8) Bolaji, B and Huan, Z. (2013). En este sentido, las investigaciones muestran que la aplicación de refrigerantes HC R600a y HC R290 se ven como la mejor alternativa con respecto a la operación y rendimiento del refrigerante R134a, teniendo como base que el uso de estos tipos de refrigerantes representan un ahorro del 20 % del consumo eléctrico comparado con el R134a Maclaine-Cross, I and Leonardi, E (1996); Sánchez, D, Andreu-Nácher, A, Calleja-Anta, D, Llopis, R and Cabello, R (2022). De acuerdo al Protocolo de Montreal eliminó el uso de CFC y HCFC. Según el Protocolo de Montreal, todos los países desarrollados deben eliminar los HCFC para 2030 y todos los países en desarrollo deben eliminar los HCFC para 2040 Para el Medio Ambiente, Programa de Naciones Unidas (2000). Al realizar un análisis sobre las emisiones de GEI producidas por fugas de refrigerantes, se encuentra una cifra de 4400 Mt CO_2eq emitidas en el 2020, lo que corresponde a más del 10 % de las emisiones globales de GEI Green Cooling Initiative (2023).

2.10.3. Compresor

Considerando que la tendencia mundial es el uso eficiente de la energía eléctrica usada para refrigerar, estudios como el de Corte et al. Corte, E, Flores, C, Jara, N and Isaza, C (2014), presentaron los avances mas destacados en lo relacionado con la eficiencia en la refrigeración doméstica que se han desarrollado entre los años 2006 al 2011, encaminados en cuatro factores como: impactos ambientales, costos, rendimientos y confiabilidad, desde el punto de vista del rendimiento del compresor encontraron que su rendimiento se puede mejorar con el uso de compresores lineales que permiten variar la velocidad del compresor en función de la demanda de refrigeración ya sea con el uso de controladores electrónicos o mediante el control de desplazamiento del pistón (volumen muerto) analizando la posibilidad de recuperar la energía en el proceso de reexpansión del gas con ello se pueden lograr ahorros de energía significativos y se podría disminuir la contaminación ambiental. Por medio del empleo de compresores controlados electrónicamente que incluyen dispositivos tipos VFD (Variable Frequency Driver) el desempeño energético y exergético en los refrigeradores aumenta ostensiblemente, Binneberg et al. Binneberg, P, Kraus, E and Quack, H (2002), estudio la forma de control por medio de simulación numérica y encontró que este tipo de operación puede generar ahorro de energía de hasta un 30 % por factores como menores pérdidas por fricción en el compresor, mayor temperatura de evaporación, menor temperatura de condensación y reducción de pérdidas asociadas a la igualación de presión en las paradas del compresor.

2.10.4. Nivel del Ruido del Compresor

Partiendo de que en la actualidad el área de una vivienda se ha reducido considerablemente, la instalación de los refrigeradores en lugares como la sala es algo ahora relativamente común, por lo tanto, medir el ruido que genera un sistema de refrigeración (concretamente el compresor y el motor) es algo que algunos fabricantes han comenzado a considerar con el propósito de mejorar el desempeño y reducir el nivel de ruido generado por el movimiento de componentes como el eje, el pistón, el rotor, las válvulas de succión y descarga con el fin de mantener condiciones de confort en el hogar Jang, Y, Kang, M and Oh, Y (2020). En la investigación realizada por Cingiz et al Park, K, Kim, W and Won, J (2021), indica que la fuente de ruido en los refrigeradores provienen generalmente del funcionamiento del compresor y el flujo del refrigerante en las tuberías. Park et al. Cingiz, Z, Katircioğlu, F, Saridemir, S, Yildiz, G and Cay, Y (2021), identificaron que una de las causas del ruido generado en el compresor es debido a la vibración estructural de la cubierta de descarga unida al compresor lineal en el compartimiento mecánico, para mitigar este problema propusieron el diseño un absorbedor dinámico, que se combinará con la cubierta de descarga, reduciendo de 2,5 a 1,7 *dB* el nivel de ruido. Han et al. Han, H, Jeong, W, Kim, M and Kim, Tae H (2009), estudio el ruido procedente del refrigerante en la entrada del evaporador y la salida del tubo capilar, encontró que debido a la transición de la expansión a la evaporación, la formación de burbujas y la interacción causaron cierto grado de ruido inducido por el flujo. Por lo tanto los estudios novedosos en cuanto a la mitigación del ruido de los refrigeradores producidos por los compresores son de vital importancia en la reducción del gasto de energía y aumento de la eficiencia energética en la operación de los equipos Youngboon Son, J and Lee, S (2021). Estas investigaciones se han visto encaminadas, en algunas ocasiones, para cumplir con leyes y normativas; en otras, para cubrir las necesidades de grandes especificadores y, en otras más, por solicitud de los usuarios finales. Investigaciones relacionan el ruido producido por los componentes de los compresores como factores que inciden en la eficiencia energética del mismo, debido a que el ruido son perturbaciones de pérdidas de la energía Rahman, K, Leman, A, Mansor, L, Salleh, M, Yusof, M, and Mahathir, M (2016).

2.10.5. Eficiencia de los Refrigeradores Fuera de Línea

Como consecuencia de la emergencia sanitaria presentada en todo el mundo, el avance tecnológico en cuanto a refrigeración es un factor importante en la conservación de las cadenas de frío de las vacunas contra el Covid-19, se evidencio que hay regiones que no están conectadas a una de red de sistema eléctrico, produciendo la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía para los refrigeradores de las regiones más apartadas McCarney, S, Robertson, J, Arnaud, J, Lorenson, K and Lloyd, J (2013). Los sistemas de refrigeración domésticos tienen la oportunidad de ser alimentados por Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCR) como la energía solar, que se puede utilizar en los sistemas de refrigeración por absorción o en los sistemas de refrigeración por compresión de vapor Ekren, O, Celik, S,

Noble, B and Krauss, R (2013). El suministro de fuentes de electricidad con bajas emisiones de carbono para la refrigeración es una forma de reducir las emisiones de GEI relacionadas con la energía. En el 2021 los combustibles fósiles producen el 80 % de la electricidad en el mundo, más específicamente Planelles Manuel (2021). Es así que la adaptación de los electrodomésticos que usan corriente alterna (CA) y son alimentados por medio del sistema de interconexión a una micro red de corriente continua (CC), fue estudiada por Sabry et al Sabry, A, Shallal, A, Hameed, H and Ker, P (2020), en el 2020 encontrando que los avances recientes en electrodomésticos se dirigen hacia la compatibilidad con CC a medida que los electrodomésticos incluyen componentes electrónicos en su etapa de potencia para impulsar y controlar sus componentes. Por lo tanto, todos los aparatos pueden funcionar con una fuente de alimentación de CC con un nivel de voltaje adecuado también concluyen que la eficiencia de los electrodomésticos recientes disponibles con CC es mayor que los viejos equivalentes de CA. Para productos, como refrigeradores, las mejoras de eficiencia pueden ser de alrededor del 20 al 30 %

Es así como Rajkumar and Rathinam propusieron el uso de energía fotovoltaica como fuentes de alimentación y de esta forma garantizan que poblaciones que no tiene acceso al sistema interconectado de energía puedan hacer uso de electrodoméstico como los refrigeradores denominados refrigeradores off line SPV powered Rajkumar, M and Rathinam, A. (2018). La producción de energía por paneles solares, y la implementación de esta forma de energía en los refrigeradores, influye en el comportamiento de tal forma que la corriente del sistema dejaría de ser corriente alterna AC y pasara a corriente continua CC, garantizando el funcionamiento los sistemas de refrigeración de regiones fuera de la red de interconexión Park, W, Shah, N and Phadke, A (2019); Ouali, M, Djebiret, M, Ouali, R, Mokrane, M, Merzouk, N and Bouabdallah, A (2017). Según los autores Su et al. Su, P, Ji, J, Cai, J, Gao, Y and Han, K (2020), indican que el uso de energía fotovoltaica aplicada directamente a al compresor aumenta a eficiencia promedio de utilización fotovoltaica aumenta en un 45,69 % y la capacidad de enfriamiento del modo de velocidad variable aumenta en un 32,76 % de modo que usando la intensidad de la radiación aumenta, la capacidad de enfriamiento aumenta significativamente. Sin embargo de acuerdo al estudio realizado por Modi et al Modi, A, Chaudhuri, A, Vijay, B and Mathur, J (2009), relacionado con el rendimiento de un refrigerador doméstico operado por energía solar fotovoltaica indica que sistema sólo puede ser económicamente viable en materia de costos si se tiene en cuenta una inversión inicial o una reducción de los costos de los componentes, principalmente los paneles SPV y el banco de baterías.

2.11. Patentes por Perspectivas de Eficiencia de Refrigeración

En cuanto a la fabricación de nuevos productos basados en los desarrollo tecnológico dentro del presente proyecto se exploró la base de datos LATIPAT que permite la búsqueda de información técnica en América Latina y España. Se realizó una búsqueda enfocada en refrigeradores domésticos, para esto se acoto la indagación a registros de clasificación internacional de patentes IPC y clasificación cooperativa de patentes CPC de F25D11/02 que corresponde a la familia F25D 11/00 Dispositivos móviles autónomos asociados con maquinaria de refrigeración, p. frigoríficos domésticos con compartimentos a diferentes temperaturas Ing Liang W and Krüger, E (2017). Como resultado se identificaron 346 patentes registrado bajo estos códigos. Posteriormente la búsqueda se limito a registros de los últimos 20 años es decir del año 2001 al 2021. Como resultado se encontraron un total de 209 patentes. La Figure 2-5, muestra que los años 2005 y 2017 fueron los años en los que más se concedieron patentes con una cantidad equivalente a 20 y 21 patentes respectivamente Espacenet (2019). En el 2020 fue el año con menor número de patentes concedidas, 3 en total.

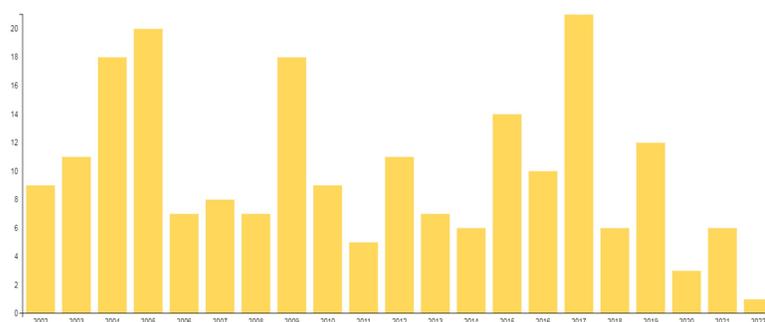


Figura 2-5: Cantidad de patentes entre el 2002 y 2022 registradas con cogidos IPC y/o CPC F25D11/02. adaptado de LATIPAD (2022).

Con respecto a las empresas a las que se les concedió patentes figuran en los 5 primeros lugares las siguientes: Whirlpool Company con 50 patentes; BSH Bosch Siemens Hausgeraete con 37; LG Electronics Inc. con 16; BSH Electrodomésticos España 7 patentes y Multibras Electrodomésticos S.A con 6 patentes.

Finalmente, se identifica que los países donde encuentran las casas matrices de las empresas a las que se le concedieron el 80% de las patentes están liderados por Estados Unidos con el 33,49% (70), Alemania con un 20,57% (43); Brasil con 8,61% (18); España con 8,13%; Italia con 4,3%; México y Argentina con un 1,91%(4) y Colombia con un 0,95% (2). Es importante resaltar que los fabricantes de refrigeradores domésticos con presencia en Colombia se encuentran dentro de las empresas líderes en patentes, de lo cual se infiere que se está trabajando en el mejoramiento de los equipos y que esto puede afectar en los próximos 15 años en el mercado colombiano, posesionando refrigeradores con mejores diseños

y tecnología que pueden impactar en el desempeño energético del mismo y por ende en su índice de Ahorro Relativo.

En el desarrollo de la cuarta fase se ha realizado actividades enfocadas en los análisis comparativos entre las diferentes metodologías de cálculo de la eficiencia energética, así como las definiciones de categorías asociadas a los indicadores de eficiencia. A continuación, se ilustran las metodologías de cálculo de consumo de energía, volumen equivalente, índice de eficiencia y comparación de las categorías de eficiencia energética.

3 Metodología para la Estimación de la Eficiencia Energética en Refrigeración Residencial

Con base en el control que los países ejercen sobre el consumo energético, se identificaron normatividades que establecen una metodología para evaluar el consumo de energía de los refrigeradores de uso doméstico, que tiene cada país. Los parámetros de referencia consultados en las diferentes metodologías evalúan parámetros como el consumo de energía, el volumen equivalente, el índice de eficiencia energética y su respectiva categorización tanto para Colombia como para los referentes. Para el caso chileno, la normativa técnica vigente no es de dominio público, por lo tanto, en la presente sección no se relacionan las expresiones del cálculo, pero si los rangos establecidos para las diferentes categorías de refrigeradores, también se excluye de el estudio analítico a Paraguay, Ecuador y Malasia, puesto sus normativas no son de acceso público.

3.1. Cálculo del Consumo de Energía

A continuación, se realiza una revisión de las diferentes formulaciones que se tienen en las normativas de los países referentes para el cálculo de consumo de energía.

3.1.1. Colombia

En Colombia el consumo energético se toma de acuerdo con el RETIQ, haciendo énfasis en los resultados obtenidos en periodo de prueba de 24 horas en condiciones controladas de acuerdo con la norma IEC 62552. En la ecuación (3-1) se muestra la forma de cálculo para el consumo de energía.

$$AC = 30 * \frac{dias}{mes} * E_{comp}. \tag{3-1}$$

Donde: *AC*: Consumo de energía anual del aparato, determinado como Consumo de Energía en un periodo de prueba de 24 horas * 365 días numeral 9.1.3 del RETIQ Ministerio de Minas y Energía (2015).

3.1.2. Unión Europea

En la UE el consumo energético se basa en el consumo anual de energía y tiene en cuenta varios factores como la energía consumida por las resistencias de anti-congelación, factores de carga entre otros. En la ecuación (3-2) se muestra la forma como se calcula el consumo anual de energía para refrigeradores domésticos.

$$AE = 365 * \frac{E_{diaria}}{L} + E_{aux}. \quad (3-2)$$

Donde: AE es el consumo anual de energía dado en kWh/año.

L Factor de carga térmica de los alimentos usados en la prueba.

E_{diaria} Energía diaria en kWh/ 24 h.

E_{aux} La energía empleada por una resistencia anti-condensación controlada por el ambiente (kWh/año).

3.1.3. Brasil

En Brasil el consumo energético está definido como el consumo energético mensual declarado, en la ecuación (3-3) se muestra la forma de calcular este consumo.

$$CE_M = CE_D * \frac{30}{1000}. \quad (3-3)$$

Donde:

CE_M es el consumo energético mensual declarado

CE_D es el consumo de energía en W por 24 horas, con. base en la temperatura ambiente determinada a 32°C.

3.1.4. Estados Unidos

En cuanto al consumo energético la normatividad de Estados Unidos hace diferencia en función al tipo de refrigerador, con lo cual se presenta varias alternativas de cálculo de consumo energético, los tipos equipos de refrigerador son refrigeradores, refrigeradores-congeladores y productos de refrigeración diversos". Los equipos refrigeradores y refrigeradores-congeladores se pueden clasifican según su mecanismo de deshielo: Manual, semiautomático o automático; adicionalmente en el caso de los refrigeradores-congeladores se especifica en relación con la ubicación del congelador: Superior y lateral. De acuerdo con los anterior en la Tabla **3-1** se muestra las formas de calcular el consumo d energía mensual para los refrigeradore residencial dependiendo de su tipo de deshielo.

Tabla 3-1: Formulación del consumo de energía por tipo de frigorífico en USA

Tipo de Refrigerador	Cálculo de Consumo energético	Definiciones
Equipos con deshielo manual y automático	$ET = \frac{EP * 1440 * K}{T}$	<p>ET energía del ciclo de prueba gastada en kilovatios-hora por día. EP energía gastada en kilovatios-hora durante el periodo de prueba T duración del periodo de prueba en minutos 1440 factor de conversión para ajustar a un periodo de 24 horas en minuto por día K factor de corrección adimensional de 1.0 para refrigeradores y refrigeradores-congeladores y 0.55 para enriadores y productos de refrigeración combinados para enriadores para ajustarse al uso domestico promedio.</p>
Equipos con deshielo automático de largo tiempo	$ET = (1440 * K * \frac{EP_1}{T_1}) + (EP_2 - (EP_1 * \frac{T_2}{T_1})) * K * (\frac{12}{CT})$	<p>EP_1 energía gastada en kilovatios-hora durante la primera parte de la prueba EP_2 energía gastada en kilovatios-hora durante la segunda parte de la prueba T_1 y T_2 tiempo en minutos de la primera y segunda parte de la prueba respectivamente CT tiempo de funcionamiento del temporizador de descongelamiento o tiempo de funcionamiento del compresor entre descongelamiento en horas requeridas para hacer que pase un ciclo completo, redondeando a la décima de hora mas cercana 12 factor para ajustar un tiempo de funcionamiento del compresor del 50 % en horas por día</p>
Equipos con control de deshielo variable	$ET = (1440 * K * \frac{EP_1}{T_1}) + (EP_2 - (EP_1 * \frac{T_2}{T_1})) * K * \frac{12}{CT}$ $CT = \frac{CT^L * CT^M}{F * (CT^M - CT^L) + CT^L}$	<p>CT^L tiempo de funcionamiento más corto del compresor entre des escarche usado en el algoritmo de control de des escarche variable (mayor o igual a 6 pero menor o igual a 12 horas) CT^M tiempo máximo de funcionamiento del compresor entre descongelamientos en horas redondeando a la décima de horas mas cercana (mayor que CT^L y CT^M en el algoritmo, se utilizaran los valores predeterminados de 6 y 96 respectivamente</p>

3.1.5. México

La norma mexicana NOM-015-ENER-2018 ? estable el consumo de energía máximo (E_{max}) anual en kWh/año y lo clasifica de acuerdo con el tipo de refrigerador como se muestra en la Tabla 3-2. En la ecuación (3-4) se ilustra la forma general de calcular E_{max} .

$$E_{max} = \alpha * VA + \beta. \quad (3-4)$$

Donde: VA volumen ajustado.

α y β Coeficientes de correlación dependientes del tipo de refrigerador.

Tabla 3-2: Estimación del consumo energético de diferentes equipos de refrigeración en México, adaptado de Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2012)

Consumo Máximo de Energía para Frigoríficos, Frigoríficos-Congeladores y Congeladores Domésticos	
Descripción del aparato	Consumo de energía máximo por año (Emax)
1. Refrigerador-congelador y refrigeradores diferentes a los aparatos que son sólo refrigerador con deshielo manual.	$0,282 * VA + 225$
1A. Sólo refrigeradores con deshielo manual.	$0,240 * VA + 193,6$
2. Refrigerador-congelador con deshielo parcialmente automático.	$0,282 * VA + 225$
3. Refrigerador-congelador con deshielo automático, con el congelador montado en la parte superior, sin máquina de hielo automática.	$0,282 * VA + 233,7$
3-BI. Refrigerador-congelador empotrable con deshielo automático, con congelador montado en la parte superior sin máquina de hielo automática.	$0,323 * VA + 317,7$
3I. Refrigerador-congelador con deshielo automático, con el congelador montado en la parte superior con máquina de hielo automática sin entrega de hielo a través de la puerta exterior.	$0,285 * VA + 317,7$
3I-BI. Refrigerador-congelador empotrable, con deshielo automático con el congelador montado en la parte superior con máquina de hielo automática sin entrega de hielo de la puerta exterior.	$0,323 * VA + 348,9$

Finalmente, en la Tabla **3-3** se resumen todas las fórmulas de cálculo y se destacan sus diferencias y similitudes.

Tabla 3-3: Formulación de cálculo de consumo energético en Colombia y países de referencia

Colombia	$AC = 30 \left[\frac{\text{dias}}{\text{mes}} \right] * (E_{Comp})$	<i>AC</i> consumo de energía anual del aparato, determinado como <i>C_{comp}</i> es la energía gastada en un periodo de prueba de 24 horas * 365 días
Unión Europea	$AE = 365 * \frac{E_{diaria}}{L} + E_{Aux}$	<i>AE</i> es el consumo anual de energía dado en <i>kWh/ao</i> <i>L</i> factor de carga térmica de los alimentos usados en la prueba <i>E_{diaria}</i> energía diaria en <i>kWh/24h</i> <i>E_{Aux}</i> energía empleada por una resistencia anticondensación controlada por el ambiente (<i>kWh/ao</i>)
Estados Unidos	$ET = (1440 * K * \frac{EP_1}{T_1}) + (EP_2 - (EP_1 * \frac{T_2}{T_1})) * K * (\frac{12}{CT})$	<i>ET</i> energía del ciclo de prueba gastada en kilovatios-hora por día. <i>EP</i> energía gastada en kilovatios-hora durante el periodo de prueba <i>T</i> duración del periodo de prueba en minutos 1440 factor de conversión para ajustar un periodo de 24 horas en minutos por día <i>K</i> factor de corrección adimensional de 1 para refrigeradores y refrigeradores-congeladores; y 0.55 para enfriadores y productos de refrigeración combinados para refrigeradores de uso domestico promedio.
Brasil	$CE_M = CE_D * (\frac{30}{1000})$	<i>CE_M</i> consumo energético mensual declarado <i>CE_D</i> es el consumo de energía en Wh por 24 horas, con base en la temperatura ambiente determinada a 32°C
México	$E_{max} = \alpha * VA * \beta$	<i>E_{max}</i> consumo de energía <i>VA</i> volumen ajustado α y β coeficientes de correlación dependientes del tipo de refrigerador.

Un factor diferenciador en el cálculo del consumo energético los maneja la normativa europea al incluir el factor *L*, correspondiente a la carga térmica de los alimentos usados en prueba y refleja la diversidad climática propia de las estaciones, adicional al factor *L* la normativa europea tiene en cuenta la energía empleada por la resistencia de antidescongelación factor que no se tiene en cuenta en ninguno de los países referentes. Otro hecho notorio es que en la formulación de consumo energético para México se incluye el volumen ajustado factor que no es tenido en cuenta en ninguna de las formulaciones. En la formulación estadounidense se

incluye un factor adimensional dependiente del tipo de refrigerador que tampoco se incluye en las formulaciones de los países referente.

3.2. Cálculo de Volumen Equivalente

El volumen equivalente para la mayoría de los países hace referencia al espacio que ocupan los diferentes compartimientos del refrigerador.

3.2.1. Colombia

Los criterios considerados en el RETIQ Ministerio de Minas y Energía (2015) para el cálculo del volumen equivalente se ilustran en la ecuación (3-5)

$$V_{eq} = \left[\sum_{c=1}^{c=n} V_{cn} * \left(\frac{T_{amb} - T_c}{T_{amb} - 5} \right) * FFC \right] * CC * BI \quad (3-5)$$

donde:

n es el número total de compartimientos del equipo.

V_{cn} es el volumen útil del compartimiento o compartimientos, en litros.

T_c es la temperatura nominal del compartimiento en °C.

FFC, CC y BI son factores de corrección.

3.2.2. Unión Europea

El consumo de energía se expresa en términos del volumen ajustado (AV) donde la ecuación (3-6) es la suma de todos los compartimientos.

$$AV = \sum V_c * W_c * F_c \quad (3-6)$$

Donde:

V_c es el volumen neto de un tipo dado de compartimiento en el aparato.

W_c es el coeficiente de ponderación para diferentes tipos de compartimiento (igual a 1 para el compartimiento de alimentos frescos (5 °C) e igual a 2. para el compartimiento de alimentos no frescos.

F_c es un factor que equivale a 1,2 para los compartimientos sin escarcha y a 1 para los demás compartimientos.

3.2.3. Brasil

El volumen ajustado en Brasil se define como volumen interno del producto en relación con las temperaturas nominales de clasificación de cada compartimiento y sección como se muestra en la tabla 3-4.

Tabla 3-4: Temperatura nominal nominal para refrigeradores brasileños.

Temperatura máxima obtenida en el compartimento congelador o en su sección ($T^{\circ}C$)	Temperatura nominal de clasificación ($^{\circ}C$)	Número de estrellas
$T_C > -6$	0	0
$-12 < T_C < -6$	-6	1(*)
$-18 < T_C < -12$	-12	2(**)
$T_C \leq -18$	-18	3(***)

(*), (**) y (***) son las temperaturas máximas obtenidas en el Compartimento Congelador. y se calcula como se muestra en la ecuacion (3-7)

$$VA = V_r + \sum(f * V_c) \tag{3-7}$$

Donde:

V_r Volumen del compartimiento refrigerador (litros). V_c Volumen del compartimiento congelador (litros).

f Valor equivalente de la clasificación de cada compartimiento.

3.2.4. Estados Unidos

Estados Unidos define el volumen ajustado en pies cúbicos y se define por medio de la ecuación (3-8)

$$VA = (VF * CRF) + VFF + VC \tag{3-8}$$

Donde:

VF volumen del compartimiento del congelador en litros.

VFF volumen del compartimiento de alimentos frescos en litros

VC volumen del compartimiento del enfriador en litros.

CR y CRF factor de ajuste

3.2.5. México

México al adoptar la normativa de estados unidos cálculo de la misma forma su volumen ajustado. Como se observa en la tabla 3-5, el factor f usado en la formulación brasilera para el cálculo del volumen equivalente se puede asemejar al factor F_c usado en la formulación europea los cuales dependen del tipo de compartimiento del refrigerador.

Con respecto a los volúmenes de los compartimientos la normativa estadounidense usa los factores VF y VFF que resultan similares a los coeficientes V_c y V_r de las normativas de Brasil y México.

Como se observa en la tabla 3-5, el factor f usado en la formulación brasilera para el cálculo del volumen equivalente se puede asemejar al factor F_c usado en la formulación europea los

Tabla 3-5: Formulaciones de cálculo de volumen ajustado empleados en Colombia, UE, USA, Brasil y Mexico

Colombia	$V_{eq} = [\sum_{c=1}^{c=n} V_{cn} * \frac{T_{amb}-T_c}{T_{amb}-5} * FF_c] * CC * BI$	n es el número total de compartimientos del equipo. V_{cn} volumen útil del compartimiento o compartimiento en litros. T_c temperatura nominal del compartimiento en . FF_c, CC y BI son factores de corrección.
Unión Europea	$AV = \sum V_c * W_c * F_c$	V_c en el volumen neto de un tipo dado de compartimiento en el aparato. W_c es el coeficiente de ponderación para diferentes tipos de compartimiento igual a 1 para el compartimiento de alimentos frescos 5° e igual 2 para el compartimiento de alimentos no fresco. F_c es un factor que equivale a 1.2 para los compartimientos sin escarcha y a 1 para los demás compartimientos.
Estados Unidos	$VA = (VF * CRF) + VFF + VC$	VF volumen del compartimiento del congelador en litros VFF volumen del compartimiento de alimentos frescos en litros VC volumen del compartimiento del enfriador en litros CRF factor de ajuste.
Brasil	$VA = V_r + \sum f * V_c$	V_r volumen del compartimiento refrigerador(litros) V_c volumen del compartimiento congelador(litros) f valor equivalente de la clasificación de cada compartimiento.
México	$VA = (VF * CRF) + VFF + VC$ $VA = (VF * CR) + VFF + VC$	VF volumen del compartimiento del congelador(litros) CR y CRF factor de ajuste VC volumen del compartimiento del enriador en litros.

cuales dependen del tipo de compartimiento del refrigerador. Con respecto a los volúmenes de los compartimientos la normativa estadounidense usa los factores VF y VFF que resultan similares a los coeficientes V_c y V_r de las normativas de Brasil y México.

3.3. Cálculo de Índice de Eficiencia Energética

El índice de eficiencia energética es un indicador que señala el nivel de consumo energético de un dispositivo, respecto a su rendimiento. Es decir, este indicador nos explica cuántos recursos serán necesarios para generar una cantidad concreta de energía. A continuación de muestra los diferentes métodos usados por los países tenidos en cuenta en esta revisión para el calculo del índice de eficiencia energética.

3.3.1. Colombia

Colombia usa el concepto de ahorro relativo A_r para clasificar que tan eficiente es un refrigerador, en la ecuación (3-9) se ilustra la forma de calcular el ahorro relativo.

$$A_r = \frac{SC_\alpha - AC}{SC_\alpha} \quad (3-9)$$

Donde:

AC es el consumo de energía anual del aparato, determinado como consumo de energía en un período de prueba de 24 horas * 365 días numeral 9.1.3 del RETIQ.

$SC\alpha$ Consumo de energía anual normalizado de referencia, el cual deberá ser determinado como se indica en el numeral 9.1.2.2 del RETIQ Ministerio de Minas y Energía (2015).

3.3.2. Unión Europea

Por su parte la Union Europea define Índice de Eficiencia Energética (IEE) para categorizar el rendimiento energético de los refrigeradores. En la ecuación (3-10) se muestra la forma de IEE.

$$IEE = \frac{AE}{SAE} \quad (3-10)$$

Donde:

AE Consumo anual de energía kWh/a

SAE Consumo de energía anual normalizado

3.3.3. Brasil

Brasil no define categorías sino un Índice de consumo de energía máximo en porcentaje con el cual categoriza el rendimiento energético de los refrigeradores en su mercado nacional. En la ecuación (3-11) se muestra cómo se calcula este índice.

$$I_e = \frac{CE_M}{C_p} \quad (3-11)$$

Donde:

C_p Consumo patrón, definido como el consumo de energía equivalente al volumen ajustado.

CE_M Consumo de energía mensual declarado.

3.3.4. Estados Unidos

Estados Unidos no establece la emisión de etiqueta energética, sino que se acoge Energy Star Program Requirements Product Specification for Residential Refrigerators and Freezers, donde el requerimiento de Máximo consumo de Energía Anual se calcula como se ilustra en la ecuación (3-12).

$$AEC_{MAX} = AEC_{Base} + \sum_{i=1}^n AEC_{ADD_i} \quad (3-12)$$

Donde:

AEC_{Base} Está asociada al consumo de energía base.

Y clasifica este consumo dependiendo del tipo de refrigerador como se muestra en la Tabla 3-6, y de acuerdo con la formulación general presentada en la ecuación (3-13)

$$E_{max} = \alpha * AV + \beta \quad (3-13)$$

Donde:

AV Volumen ajustado.

α y β Coeficientes de correlación dependiente del tipo de refrigerador.

Tabla 3-6: Consumo energético en los Estados Unidos por tipo de refrigerador

Clase de producto	Asignación base de consumo anual de energía, AEC-BASE (kWh/ao)	Porcentaje de energía inferior al consumo medido
Frigoríficos grandes y frigoríficos-congeladores		
1. Frigoríficos-congeladores y frigoríficos que no sean todos los frigoríficos con descongelación manual.	$7,19 * AV + 202,5$	10 %
1A. Todo frigoríficos frigoríficos descongelación manual.	$6,11 * AV + 174,2$	10 %
2. Frigoríficos-congeladores-descongelación automática parcial.	$7,19 * AV + 202,5$	10 %
3. 3. Frigorífico-congelador con descongelación automática y sin fabricante automático de hielo.	$7,26 * AV + 210,3$	10 %
3-BI. Frigorífico-congelador integrado con descongelación automática y congelador superior sin fabricante automático de hielo.	$8,24 * AV + 238,4$	10 %
3I. Refrigerador-congelador-desescarche automático con congelador montado en la parte superior con máquina de hielo automática sin servicio de hielo en la puerta.a través de la puerta.	$7,26 * AV + 594,3$	10 %

3.3.5. México

México adopta la misma metodología de cálculo del consumo máximo de los Estados Unidos, en la ecuación (3-14) se ilustra la forma de calcular este consumo.

$$E_{max} = a * AV + b \quad (3-14)$$

Donde:

a y b dependen de la descripción del aparato.

VA Volumen ajustado(litros).

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, Colombia es el único país que usa el concepto de ahorro relativo para definir la eficiencia de los refrigeradores, la UE usa el concepto de índice de eficiencia energética, Brasil utiliza el indicador de consumo de energía máximo y USA al igual que México usa el consumo máximo para definir el indicador de eficiencia en los refrigeradores.

También se observa que existe una equivalencia conceptual entre los términos AE de la UE, AC de la normativa colombiana Ministerio de Minas y Energía (2015) y CE_M de la normativa brasilera que se definen como el consumo de energía en un periodo de tiempo determinado.

Las normativas de USA y México definen el consumo de energía a través de formulaciones matemáticas correspondientes a regresiones lineales. En el caso de la formulación mexicana dada por la ecuación (3-14) se toma como base el volumen ajustado y se incluyen los factores de correlación α y β que de acuerdo a la norma Nom-015-Ener-2018 toman valores de acuerdo a 18 tipos diferentes de refrigeradores según su tipo, sistema de deshielo y volumen total ajustado Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2018).

3.4. Comparación de Categorías de Eficiencia Energética

Cada país referente utiliza sus propias categorías para indicar que tan eficientes son los refrigeradores que se comercializan en ellos. Se evidencia como factor común la adopción de categorías que van de la A a la G en orden descendiente de eficiencia como se muestra en la Tabla 3-7. Los rangos difieren en función del parámetro de eficiencia utilizado, por lo tanto, no es posible establecer una comparación *vis a vis* de la eficiencia de un mismo modelo de refrigerador, a la luz de la normativa vigente en estos países.

Tabla 3-7: Rangos de eficiencia energética para frigoríficos domésticos en Colombia, la Unión Europea, Chile y Brasil.

Rango de Eficiencia Energético	Colombia			UE	Chile	Brasil	
	Ahorro Relativo A_r (%)	Ahorro Relativo A_r (%)	Ahorro Relativo A_r (%)	Índice de Eficiencia Energética IEE	Índice Eficiencia Energética Refrigeración IEE	Índices de Eficiencia máximos (%) en relación al C_p (valida hasta 29-06-2022)	
Vigencia	Hasta 31 de agosto de 2021	Desde septiembre 1 de 2021	Desde septiembre 1 de 2023			Refrigerador congelador (RC)	0
A++	-	-	-	-	$IEE < 30$	-	-
A+	-	-	-	-	$30 < IEE < 42$	-	-
A	$A_r \geq 56$	$A_r \geq 67$	$A_r \geq 67$	$IEE \leq 41$	$42 < IEE < 55$	85.50%	84.60%
B	$56 > A_r \geq 45$	$67 > A_r \geq 56$	$67 > A_r \geq 56$	$41 < IEE \leq 51$	$55 < IEE < 75$	93.10%	92.10%
C	$45 > A_r \geq 35$	$56 > A_r \geq 42$	$56 > A_r \geq 42$	$51 < IEE \leq 64$	$75 < IEE < 90$	97.20%	97.20%
D	$35 > A_r \geq 25$	$42 > A_r \geq 25$		$64 < IEE \leq 80$	$90 < IEE < 100$	-	-
E	$25 > A_r \geq 15$	ELIMINADO	ELIMINADO	$80 < IEE \leq 100$	$100 < IEE < 110$	-	-
F	$15 > A_r \geq 5$	ELIMINADO	ELIMINADO	$100 < IEE \leq 125$	$110 < IEE < 125$	-	-
G	$5 > A_r \geq -20$	ELIMINADO	ELIMINADO	$125 < IEE$	$125 < IEE$	-	-

En México, Brasil y la Unión Europea, las pruebas de ensayo para la determinar los diferentes indicadores energéticos se realizan a temperatura ambiente de 32°C, Colombia adopto la misma condición a partir del 1º de septiembre del 2021, anteriormente, se establecían las pruebas tanto a 25°C como a 32 °C. Mientras tanto, Brasil a partir del segundo semestre del 2022 establece que el consumo de energía diario en refrigeradores se calcula con una ponderación igual tanto para una temperaturas de 16°C como de 32°C Ministério da Economia/Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2021).

4 Discusión

Teniendo en cuenta la normatividad técnica que rigen cada país, se observa en los indicadores de eficiencia energética que emplean las regiones de referencia, que solamente Colombia emplea el indicador de Ahorro relativo A_r , mientras que Chile y la Unión Europea establecen el Índice de Eficiencia Energética IEE, a su vez Brasil establece porcentajes de eficiencia energética para equipos de refrigeración tipo refrigerador-congelador y refrigerador congelador-Frost Free, y finalmente México y Estados Unidos establecen consumos máximos permitidos según características del aparato refrigerador. Se evidenció que Colombia, Brasil y Chile se fundamentan en la norma internacional IEC 62552 International Electrotechnical Commission (IEC) (2015a); (2018), mientras que México establece la metodología de ensayo estipulada en la Norma Oficial Mexicana Nom-0.15-Ener-18 Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2018), la Unión Europea maneja el Reglamento Delegado UE 2019/2016 de la Comisión del 11 de marzo de 2019 asociado al etiquetado energético de los aparatos de refrigeración domésticos Diario Oficial de la Unión Europea (2019). Estados Unidos se rige bajo el código de Regulaciones federales, donde en el capítulo denominado “Practica Comercial”, en la sección 305 se decreta el etiquetado de consumo de energía y agua para productos de consumo. En el apartado 305.3 de la política se definen los conceptos de refrigeradores y refrigeradores-congeladores Electronic Code of Federal Regulations (CFR) (2021). Independientemente del indicador establecido por cada uno de los países o regiones (caso de la UE), se identifican que todos se fundamentan en parámetros similares como el consumo de energía, ya sea mensual o diario y el volumen ajustado, aunque con formas diferentes de calcularlos.

También se evidenció que Colombia, UE, Chile y Brasil establecieron categorías alfabéticas en forma descendente, es decir, las categorías A++, A+ y A son las más eficientes y las categorías F y G las menos eficientes. Para el caso de Brasil se manejan las categorías A, B y C. Colombia en la reglamentación vigente cuenta con siete categorías A, B, C, D, E, F y G pero se contempla que, a partir del 1 de septiembre del 2023, esta última categoría sea descartada, y refrigeradores domésticos en esta denominación no podrán ser comercializados. Aunque Chile y la UE manejan el mismo indicador, sus rangos y categorías presentan discrepancias, en relación a Chile se contemplan 9 categorías siendo A++ la más eficiente para refrigeradores con un IEE menor a 30 y una categoría G para los menos eficientes o con un IEE mayor a 125. Como se observó en la comparación del cálculo de los diferentes indicadores de eficiencia utilizados en los países referentes y como se abordó en las secciones anteriores, a pesar que Colombia, Brasil y Chile se basan en la norma internacional

IEC 62552 International Electrotechnical Commission (IEC) (2015a); (2018), hay diferencias en el establecimiento de los rangos de eficiencia, esto debido a que cada país por medio de sus políticas y condiciones socioeconómicas establecen reglamentos para la determinación de las categorías de eficiencia energética en los refrigeradores domésticos. Por ejemplo, Colombia incluye factores de evaluación según sus clases climáticas (tropical y subtropical) que la normatividad europea por sus condiciones no contempla. Por otra parte, la Unión Europea es la única región que tiene en cuenta la pérdida de energía en las resistencias usadas en el proceso de deshielo del refrigerador E_{aux} presentada en la ecuación (3-2).

Con respecto a requerimientos para certificación de eficiencia entre los diferentes países se puede observar que la Unión Europea es la región que contempla una mayor cantidad de factores para el cálculo del IEE. Dentro de los factores que tiene en cuenta la UE se resalta el nivel de ruido producido por los compresores y el índice de reciclabilidad de los componentes usados en la fabricación de cada refrigerador. Con el factor de ruido se está garantizando que la energía útil aprovechada por el sistema este acorde a las condiciones reales de trabajo porque se están considerando las diferentes pérdidas del sistema, condición que no se observó en la evaluación de los índices por parte de los otros países.

Se realizó una búsqueda en la base de datos SICEX y se realizó un análisis del mercado colombiano por medio del inventario de los principales almacenes de cadena en Colombia, teniendo en cuenta adicionalmente, que el país es productor de equipos de refrigeración. La categorización de los Refrigeradores residenciales se dividió en “Pequeños”, “Medianos” y “Grandes”, de la misma forma que lo hace el Balance de Energía Útil (2019) Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2019). Se consideraron las clases climáticas definidas en el RETIQ que, a su vez, está basado en la norma internacional IEC 62552 del 2015, estas clases son Tropical (T) y Subtropical (ST). Se caracterizaron 96 refrigeradores domésticos identificándose parámetros técnicos tales como la capacidad de los compartimentos (en litros), la tecnología de deshielo (Frost y no Frost), el tipo de compresor (Convencional o Inverter), el consumo de energía promedio en (kWh/mes); el precio en pesos colombianos y la categoría de eficiencia energética según la etiqueta reportada por el fabricante (y/o vendedor). Se evidenció un consumo de refrigeradores de acuerdo con el tamaño Mediano, con un 41 % para la categoría T y 47 % para la categoría ST esto se observa en la Figura 4-1. El siguiente tamaño de preferencia de los consumidores. Son los refrigeradores pequeños categorizados con clase climática T en un 37 % y un 36 % para refrigeradores grandes categorizados como ST.

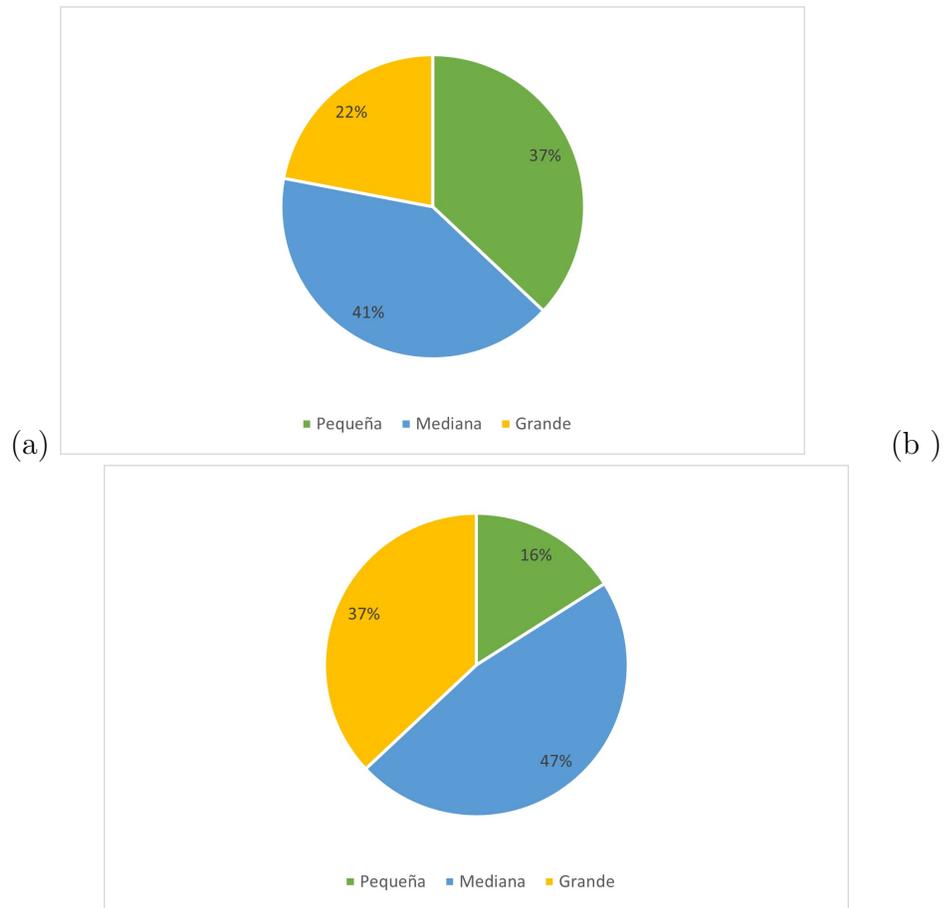


Figura 4-1: Distribución de los refrigeradores domésticos inventariados a nivel nacional según la clase climática: (a) Trópico [T] y (b) Subtropical [ST].

En la Figura 4-2, se muestra el consumo promedio según la clase climática y el tamaño. Se evidencian que los refrigeradores medianos con clase climática T son los de consumo más alto con 45,09 kWh/mes y en la categoría ST los de mayor consumo son los refrigeradores grandes con 41,14 kWh/mes.

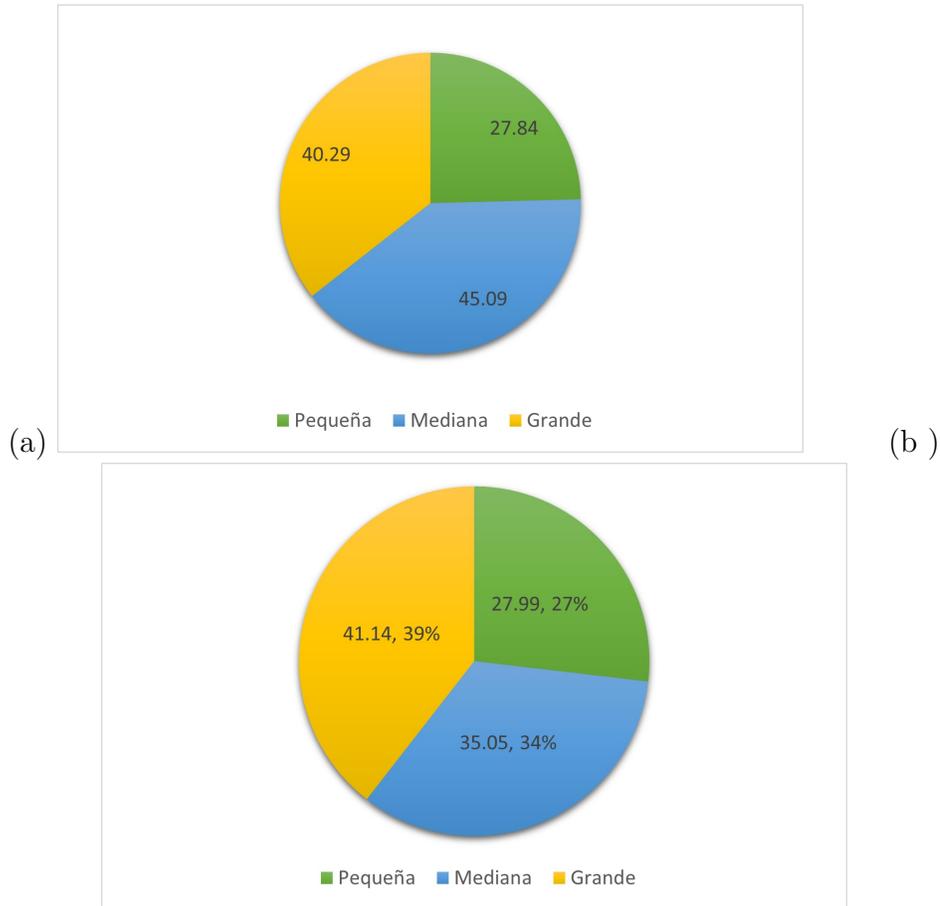


Figura 4-2: Consumo medio mensual de refrigeradores domésticos inventariados en la base de datos SICEX según la clase climática: (a) Tropical [T] y (b) Subtropical [ST].

Se puede observar, en las Figura 4-3 y la Figura 4-4, que la mayoría de los equipos inventariados, están categorizados como clase A y clase B y siendo los restantes en categoría C. En el inventario realizado no se encontraron refrigeradores categorizados con clase D ni E en la clase T ocurre algo similar con los refrigeradores de la clase ST, los cuales se clasifican mayoritariamente en las categorías A y B.

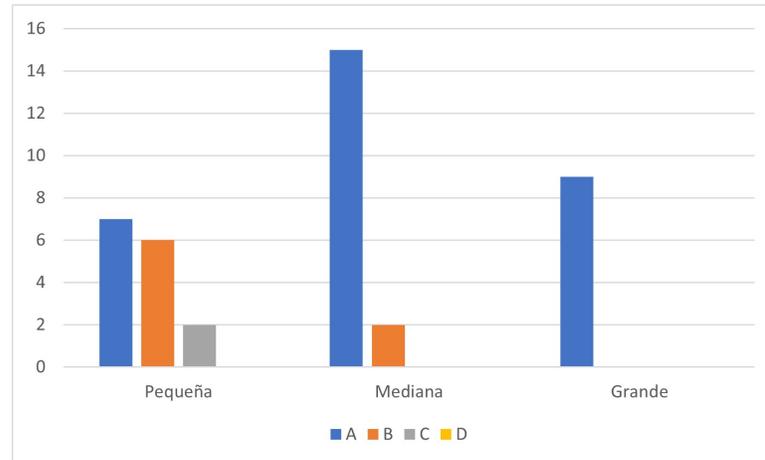


Figura 4-3: Rangos de eficiencia para refrigeradores domésticos residenciales clasificados como tropicales [T].

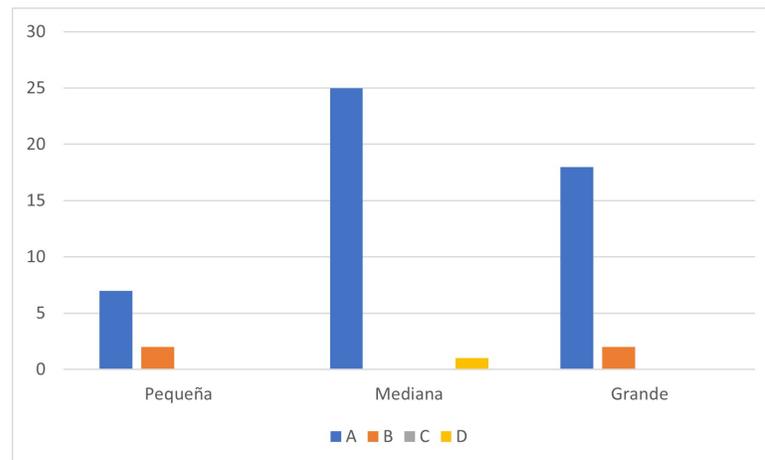


Figura 4-4: Rangos de eficiencia de los refrigeradores residenciales clasificados como subtropicales [ST].

Como resultado de este análisis comparativo, se sugiere un nuevo formato de etiqueta donde se adicionarán datos como el nivel de ruido, el índice de reciclabilidad, la fecha de emisión de la etiqueta y fecha de vigencia de la etiqueta donde se pueda tener conocimiento la regulación vigente en el etiquetado, junto a detalles como un código QR con información relevante del ciclo de vida del producto. Esta propuesta de etiqueta hace parte del informe final y mapa de ruta del proyecto de investigación entregado a Minciencias y a la UPME. La decisión de implementación o no de esta propuesta es completamente de la UMPE la cual está adscrita al Ministerio de Minas y Energía.. En la Figura 4-5 se muestra la propuesta de etiqueta.



Figura 4-5: Propuesta de etiqueta energética para refrigeradores en Colombia.

4.1. Conclusiones

Conforme a la investigación realizada sobre el estado de las políticas de etiquetado y los MEPS, se evidencia el impacto positivo que estas estrategias han tenido en el mercado de los países analizados y en Colombia. Del mismo modo, se infiere que una de las alternativas más efectivas para regular el gasto energético en el sector residencial es por medio de la implementación de estas políticas. Si bien el consumo energético a nivel de América Latina y el Caribe de todos los sectores (transporte, industria, construcción entre otros) presentó una disminución entre un 8 al 12% a raíz de la emergencia sanitaria Covid-19, el sector residencial, fue el único que tuvo un alza en el consumo energético del 1% en el año 2020 con respecto al año inmediatamente anterior, para suplir la dinámica de la pandemia y las nuevas modalidades de trabajo en casa Organización Lationamericana de EnergÍA (OLADE) (2020). El confinamiento creó nuevos hábitos de uso y consumo en los electrodomésticos, produciendo un aumento en el tiempo de trabajo de los equipos y su carga eléctrica diaria. De allí la importancia de controlar el mercado de refrigeradores ineficientes, garantizando

por medio de los MEPS y las etiquetas energéticas, que los usuarios finales adquieran equipos más eficientes e implementen estrategias asertivas que permitan una adecuada disposición final de los equipos reemplazados, minimizando así el impacto ambiental que estos generan. En gran parte de los países referentes se están implementando nuevas tecnologías con el fin de aprovechar la energía provenientes de fuentes renovables como la fotovoltaica, abarcando no solamente el uso de los refrigeradores sino de distintos equipos residenciales en regiones apartadas sin acceso al sistema interconectado de energía. La gran mayoría de refrigeradores abastecidos con fuentes alternativas y renovables, se caracterizan por altos niveles de eficiencia, debido a que no producen energía firme y se debe aprovechar al máximo la energía disponible en periodos de baja generación energética, como es el caso de los refrigeradores solares Sabry, A, Shallal, A, Hameed, H and Ker, P (2020).

En relación con el etiquetado energético deben contemplarse no sólo aspectos técnicos como son las normas técnicas (nacionales y/o internacionales) garantizando que los ensayos de consumo energético, temperaturas y volúmenes estén normalizados, sino también sociales (campañas de promoción, pedagogía), económicos (beneficios tributarios) y ambientales. siguiendo con este razonamiento el factor de reciclabilidad que se propone para la etiqueta de Colombia, debe indicarse que este factor se relaciona con la disposición final de los refrigeradores viejos u obsoletos, permitiendo el aprovechamiento de componentes de los equipos. Colombia debe revisar el escenario europeo, específicamente en lo que respecta al cálculo de consumo energético, pues este último contempla el cálculo del consumo de los equipos auxiliares (resistencias de deshielo), mismo que actualmente no se contempla en el RETIQ. Por otra parte, se encuentran unas diferencias en las temperaturas ambientales usadas para los ensayos asociado al consumo, en Colombia con la última actualización del RETIQ indica la temperatura de ensayo de 32°C que permite establecer el consumo en condiciones más exigentes de operación. Adicionalmente, no fue posible establecer una equivalencia en las eficiencias energéticas de los países referentes, debido principalmente a que existen diferencias en su metodología de cálculo, es así que, por ejemplo, para el caso colombiano el consumo energético se evalúa de forma anual al igual que la UE, en cambio Brasil lo realiza por día igual que Estados Unidos, y México no aclara el tiempo de prueba ya que solamente determina el consumo máximo.

En cuanto a los índices de eficiencia, Colombia es el único país que determina la eficiencia energética de los refrigeradores por medio del concepto de ahorro relativo, la UE y Chile la definen por medio del IEE, aunque estos dos países usan el mismo indicador, estos no tienen una equivalencia directa, lo mismo sucede con Brasil y Estados Unidos quienes definen el consumo máximo dependiente del tipo de refrigeradores. El índice de eficiencia determinado por México y Estados Unidos corresponde a una función lineal que es directamente proporcional al volumen ajustado, incluyendo un factor de correlación adicional dependiente del tipo de refrigerador. Para el caso colombiano el Ar no es dependiente del volumen equivalente del refrigerador, en cambio Brasil si determina su índice de eficiencia de acuerdo con el volumen ajustado, que se podría tomar como referente para Colombia en la actualización de los índi-

ces de eficiencia, estrategias que se han basado en el estudio del mercado de refrigeradores y de acuerdo con este estudio ha hecho la actualización de los rangos de desempeño.

4.2. Producción Derivada

Como productos derivados de este proyecto de investigación, se obtuvo un Artículo Q1 (Generación de Nuevo Conocimiento), se participó en la elaboración de una cartilla especializada y un sitio web (Difusión del Conocimiento), estos se relacionan a continuación:

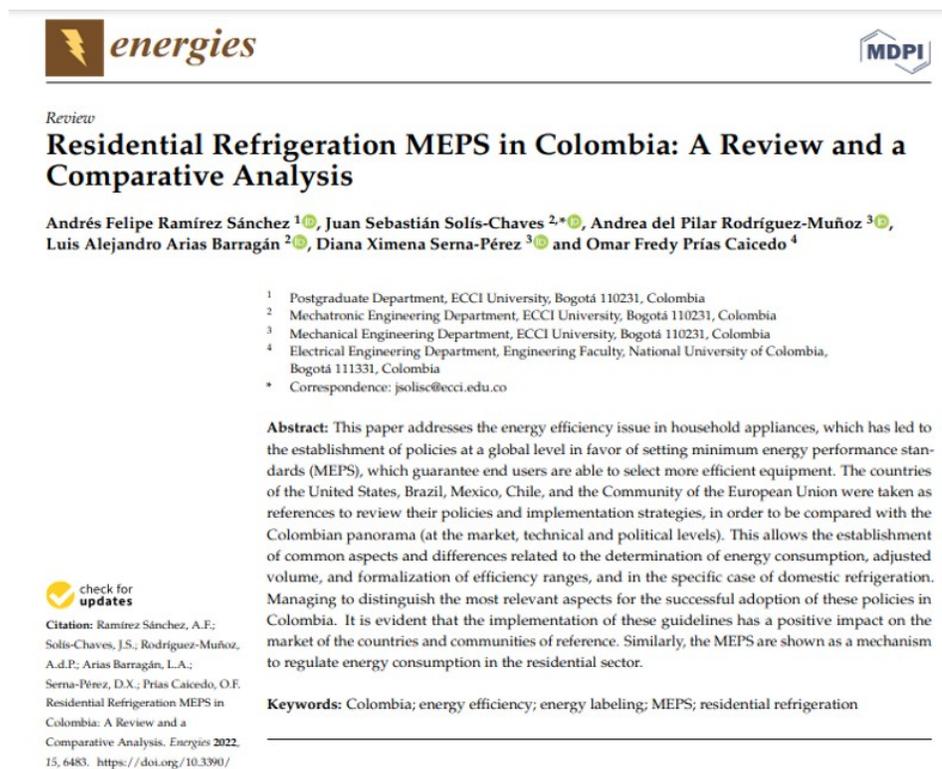
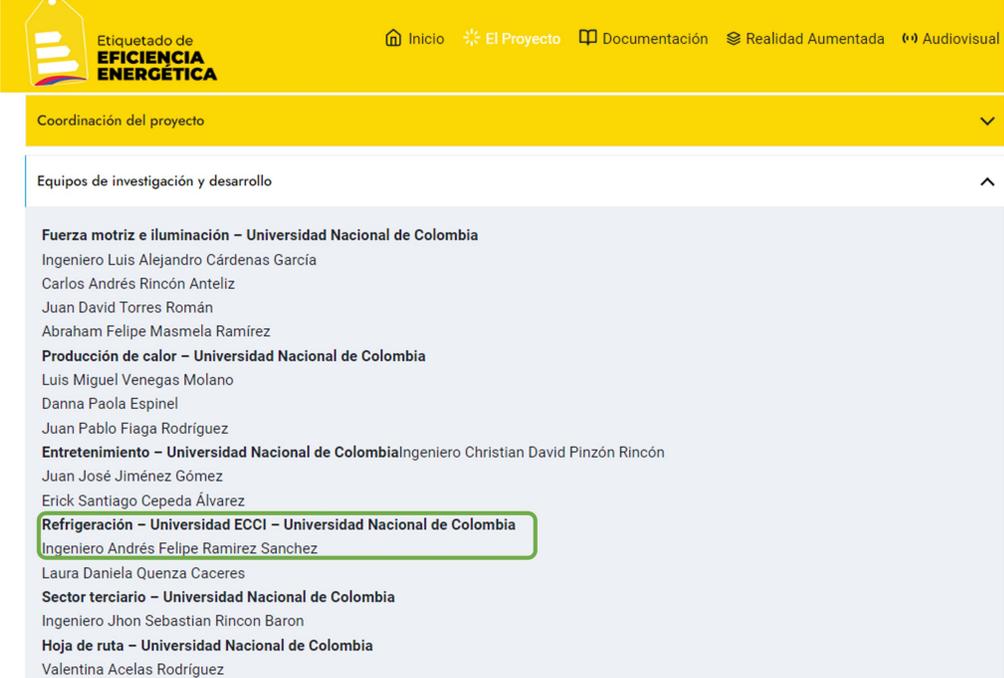


Figura 4-6: Producto de Nuevo Conocimiento tipo Top Q1 Ramírez Sánchez u. a. (2022)



Etiquetado de
**EFICIENCIA
ENERGÉTICA**

Inicio El Proyecto Documentación Realidad Aumentada Audiovisual

Coordinación del proyecto

Equipos de investigación y desarrollo

Fuerza motriz e iluminación – Universidad Nacional de Colombia
Ingeniero Luis Alejandro Cárdenas García
Carlos Andrés Rincón Anteliz
Juan David Torres Román
Abraham Felipe Masmela Ramírez

Producción de calor – Universidad Nacional de Colombia
Luis Miguel Venegas Molano
Danna Paola Espinel
Juan Pablo Fiaga Rodríguez

Entretenimiento – Universidad Nacional de ColombiaIngeniero Christian David Pinzón Rincón
Juan José Jiménez Gómez
Erick Santiago Cepeda Álvarez

Refrigeración – Universidad ECCI – Universidad Nacional de Colombia
Ingeniero Andrés Felipe Ramirez Sanchez

Laura Daniela Quenza Caceres

Sector terciario – Universidad Nacional de Colombia
Ingeniero Jhon Sebastian Rincon Baron

Hoja de ruta – Universidad Nacional de Colombia
Valentina Acelas Rodríguez

Figura 4-7: Producto de Divulgacion Publica de la CTel. Desarrollo Web Incluir referencia de la pagina <https://etiquetaenergia.com/>



Figura 4-8: Producto de Divulgación Pública de la CTeI - Publicaciones Editoriales no Especializadas

4.3. Trabajos Futuros

De este trabajo monográfico se podrían derivar los siguientes trabajos futuros:

- Analizar estadísticamente los beneficios de la modificación de la etiqueta energética y la actualización de los rangos energéticos.
- Extender este análisis comparativo a otros electrodomésticos mencionados en el RE-TIQ.
- Como afecta el nuevo etiquetado en la reducción de los gases de efectos invernadero producto de estos electrodomésticos.

Bibliografía

- [Zygierewicz2017 2017] : *The Ecodesign Directive for energy-related products*. 2017. – URL <http://www.eceee.org/ecodesign>
- [2018] : *Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, Norma Oficial Mexicana NOM-015-ENER-2018, Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado*. 2018
- [LATIPAD 2022] : *OVT LATIPAT: Base de datos de patentes en español y portugués*. 2022. – URL <https://lc.cx/boPCcG>. – Zugriffsdatum: 2022-05-02
- [Abu Saleh Ahmed 2010] ABU SALEH AHMED, Sinin H.: Importancia de las Normas y Etiquetas de Eficiencia Energética para Frigoríficos Congeladores Domésticos en Malasia. In: *Departamento de Ingeniería Mecánica y de Fabricación, Facultad de Ingeniería, Universiti Malaysia Sarawak, 94300 Kota Samarahan, Sarawak, Malasia* 27 (2010), Nr. 1, S. 39–50. ISBN 6082583299
- [Agencia Internacional de Energia 2019] AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, Ministerio de Minas y Energia de Brasil: Atlas of Energy Efficiency Brazil 2019 / International Energy Agency. 2019. – Forschungsbericht. – 145 S
- [Arroyo, G, Aguillon, J, Ambriz, J and Canizal, G 2009] ARROYO, G, AGUILLON, J, AMBRIZ, J AND CANIZAL, G: Electric energy saving potential by substitution of domestic refrigerators in Mexico. In: *Energy Policy* 37 (2009), nov, Nr. 11, S. 4737–4742. – ISSN 0301-4215
- [Bansal 2003] BANSAL, P. K.: Developing new test procedures for domestic refrigerators: Harmonisation issues and future R&D needs - A review. In: *International Journal of Refrigeration* 26 (2003), Nr. 7, S. 735–748. – URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140700703000458>. – ISSN 01407007
- [Bansal, P, Vineyard, E and Abdelaziz, O 2011] BANSAL, P, VINEYARD, E AND ABDELAZIZ, O: Advances in Household Appliances- A Review. In: *Applied Thermal Engineering* 31 (2011), dec, Nr. 17-18, S. 3748–3760. – URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431111003826>

- [Bertoldi, P and Mosconi, R 2015] BERTOLDI, P AND MOSCONI, R: The impact of energy efficiency policies on energy consumption in the EU Member States: a new approach based on Energy Policy indicators. URL <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030142152030077X>, Apr 2015. – Forschungsbericht. – ISBN 9789279542176
- [Bertoldi, P and Mosconi, R 2020] BERTOLDI, P AND MOSCONI, R: Do energy efficiency policies save energy? A new approach based on energy policy indicators (in the EU Member States). In: *Energy Policy* 139 (2020), Nr. Jan. – URL <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111320>. – ISSN 03014215
- [Binneberg, P, Kraus, E and Quack, H 2002] BINNEBERG, P, KRAUS, E AND QUACK, H: Reduction In Power Consumption of Household Refrigerators by using Variable Speed Compressors. In: *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, URL <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/615>, 2002, S. 9
- [Bolaji 2010] BOLAJI, Bukola O.: Exergetic performance of a domestic refrigerator using R12 and its alternative refrigerants. In: *Journal of Engineering Science and Technology* 5 (2010), Nr. 4, S. 435–446. – ISSN 18234690
- [Bolaji, B and Huan, Z. 2013] BOLAJI, B AND HUAN, Z.: Ozone depletion and global warming: Case for the use of natural refrigerant - A review. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18 (2013), feb, S. 49–54. – ISSN 13640321
- [Boyd, G, Dutrow, E and Tunnessen, W 2008] BOYD, G, DUTROW, E AND TUNNESSEN, W: The evolution of the Energy Star energy performance indicator for benchmarking industrial plant manufacturing energy use. In: *Journal of Cleaner Production* 16 (2008), apr, Nr. 6, S. 709–715. – ISSN 09596526
- [Calm 2006] CALM, James M.: Comparative efficiencies and implications for greenhouse gas emissions of chiller refrigerants. In: *International Journal of Refrigeration* 29 (2006), aug, Nr. 5, S. 833–841. – URL <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140700705002379>. – ISSN 01407007
- [Cardoso, R, Nogueira, L and Haddad, J 2010] CARDOSO, R, NOGUEIRA, L AND HADDAD, J: Economic feasibility for acquisition of efficient refrigerators in Brazil. In: *Applied Energy* 87 (2010), jan, Nr. 1, S. 28–37. – ISSN 03062619
- [Cheshmehzangi 2020] CHESHMEHZANGI, Ali: COVID-19 and household energy implications: what are the main impacts on energy use? In: *Heliyon* 6 (2020), oct, Nr. 10. – URL [/pmc/articles/PMC7544699/](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7544699/) [/pmc/articles/PMC7544699/?report=abstract](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7544699/?report=abstract) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7544699/>

- <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844020320454>. – ISSN 24058440
- [Cingiz, Z, Katircioğlu, F, Saridemir, S, Yildiz, G and Cay, Y 2021] CINGIZ, Z, KATIRCIOĞLU, F, SARIDEMIR, S, YILDIZ, G AND CAY, Y: Experimental Investigation of the Effects of Different Refrigerants used in the Refrigeration System on Compressor Vibrations and Noise. In: *International Advanced Researches and Engineering Journal* 5 (2021), aug, Nr. 2, S. 152–162. – URL <https://dergipark.org.tr/en/pub/iarej/issue/61772/859423> <https://dergipark.org.tr/en/doi/10.35860/iarej.859423>. – ISSN 2618-575X
- [Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía 2012] COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA: *Nom015-Ener-2012*. 2012. – URL <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4646/sener/sener.htm>
- [Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía 2003] COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA: *Nom-015-ener-2002*. 2003
- [Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía 2018] COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA: *Nom-015-Ener-2018*. 2018
- [Conrado, A and de Martino Jannuzzi, G 2010] CONRADO, A AND DE MARTINO JANNUZZI, G: Energy efficiency standards for refrigerators in Brazil: A methodology for impact evaluation. In: *Energy Policy* 38 (2010), nov, Nr. 11, S. 6545–6550. – ISSN 03014215
- [Corporación para la Energía y el Medio Ambiente (CORPOEMA) 2014] CORPORACIÓN PARA LA ENERGÍA Y EL MEDIO AMBIENTE (CORPOEMA): *Informe Final Evaluación Costo Efectividad de Programas de Eficiencia Energética en los Sectores Residencial, Terciario e Industrial(Subsectores código ciiu 10-18)*. 2014. – URL [https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1007/1/Informe Final - Costo Efectividad Medidas Eficiencia Energética UPME 010-2014.pdf](https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1007/1/Informe%20Final%20Costo%20Efectividad%20Medidas%20Eficiencia%20Energ%C3%A9tica%20UPME%20010-2014.pdf)
- [Corte, E, Flores, C, Jara, N and Isaza, C 2014] CORTE, E, FLORES, C, JARA, N AND ISAZA, C: Sistemas de refrigeración doméstica - estado del arte de las mejoras en la eficiencia energética. In: *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca Ecuador* 9 (2014), S. 19–40. – URL <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/253>
- [Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) 2021] DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (DANE): Comunicado de Prensa, Encuesta Nacional de Calidad de Vida 2021 / Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. URL

- [Diario Oficial de la Unión Europea 2010] DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA: *Reglamento Delegado (UE) N o 1060/2010 de la Comisión de 28 de septiembre de 2010*. 2010
- [Diario Oficial de la Unión Europea 2019] DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA: *Reglamento Delegado (UE) 2019/2016 de la Comisión de 11 de marzo de 2019*. 2019
- [E 2005] E, McMahon J.: *Lawrence Berkeley National Energy-Efficiency Labels and Standards : A Guidebook for Appliances , Equipment , and Lighting - 2nd Edition*. apr 2005. – URL <http://www.osti.gov/servlets/purl/877316-HHBvs5/>
- [EIA 2021] EIA: *Encuesta de Consumo de Energía Residencial (RECS) - Administración de Información Energética*. 1 2021. – URL <https://www.eia.gov/consumption/residential/>
- [Ekren, O, Celik, S, Noble, B and Krauss, R 2013] EKREN, O, CELIK, S, NOBLE, B AND KRAUSS, R: Performance evaluation of a variable speed DC compressor. In: *International Journal of Refrigeration* 36 (2013), may, Nr. 3, S. 745–757. – URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2012.09.018> <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140700712002435>. – ISSN 01407007
- [Electronic Code of Federal Regulations (CFR) 2021] ELECTRONIC CODE OF FEDERAL REGULATIONS (CFR): *Federal Trade Commission Part 305 — Energy and Water use Labeling for Consumer Products Under the Energy Policy and Conservation Act “ ENERGY LABELING* . 2021
- [Escuela de Ingeniería Eléctrica and Universidad de Costa Rica 2008] ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA AND UNIVERSIDAD DE COSTA RICA: *Eficiencia Energética: El Refrigerador*. 2008. – URL <https://lc.cx/juyZZ>. – *Zugriffsdatum* : 2022 – 07 – 20
- [Espacenet 2019] ESPACENET: *Espacenet - Página inicial*. 2019. – URL https://worldwide.espacenet.com/?locale=en_EP. – *Zugriffsdatum* : 2022 – 07 – 22
- [European Commission 2006] EUROPEAN COMMISSION: *Reducing the Price of Development: The Global Potential of Efficiency Standards in the Residential Electricity Sector*. london, 2006. – 464 S. – URL
- [European commission 2021] EUROPEAN COMMISSION: *Simpler EU energy labels for lighting products applicable from 1 September / European Commission*. 2021. – Forschungsbericht

- [Faure, C, Guetlein, M and Schleich, J 2021] FAURE, C, GUETLEIN, M AND SCHLEICH, J: Effects of rescaling the EU energy label on household preferences for top-rated appliances. In: *Energy Policy* 156 (2021), Nr. June. – URL <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112439>. – ISSN 03014215
- [Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) 2018] FIDEICOMISO PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (FIDE): Retos, Logros y Desafíos 2013-2018 / Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica. 2018. – Forschungsbericht. – 312 S
- [Foelster, A, Andrew, S, Kroeger, L, Bohr, P, Dettmer, T, Boehme, S and Herrmann, C 2016] FOELSTER, A, ANDREW, S, KROEGER, L, BOHR, P, DETTMER, T, BOEHME, S AND HERRMANN, C: Electronics recycling as an energy efficiency measure - A Life Cycle Assessment (LCA) study on refrigerator recycling in Brazil. In: *Journal of Cleaner Production* 129 (2016), aug, S. 30–42. – ISSN 09596526
- [Goeschl 2019] GOESCHL, Timo: Cold Case: The forensic economics of energy efficiency labels for domestic refrigeration appliances. In: *Energy Economics* 84 (2019), S. 104468. – URL <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.08.001>. – ISSN 01409883
- [Gonzalez, R, Lucena, Andre, Garaffa, R, Miranda, R, Chavez, M, Cruz, T, Bezerra, P and Rathmann, R 2019] GONZALEZ, R, LUCENA, ANDRE, GARAFFA, R, MIRANDA, R, CHAVEZ, M, CRUZ, T, BEZERRA, P AND RATHMANN, R: Greenhouse gas mitigation potential and abatement costs in the Brazilian residential sector. In: *Energy and Buildings* 184 (2019), feb, S. 19–33. – ISSN 0378-7788
- [Green Cooling Initiative 2023] GREEN COOLING INITIATIVE: *Global green-house gas emissions from the RAC sector*. 2023. – URL <https://lc.cx/gNIDL>
- [Han, H, Jeong, W, Kim, M and Kim, Tae H 2009] HAN, H, JEONG, W, KIM, M AND KIM, TAE H: Analysis of the root causes of refrigerant-induced noise in refrigerators. In: *Journal of Mechanical Science and Technology* 23 (2009), dec, Nr. 12, S. 3245–3256. – ISSN 1738494X
- [Hancevic, P and Lopez J 2019] HANCEVIC, P AND LOPEZ J: Energy efficiency programs in the context of increasing block tariffs: The case of residential electricity in Mexico. In: *Energy Policy* 131 (2019), S. 320–331. – URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142151930254X>. – ISSN 0301-4215
- [Harrington, L, Aye, L and Fuller, B 2018] HARRINGTON, L, AYE, L AND FULLER, B: Energy impacts of Defrosting in Household Refrigerators: Lessons from Field and Laboratory Measurements. In: *International Journal of Refrigeration* 86 (2018). – ISSN 01407007

- [He, Z, Li, D, Han, Y, Zhou, M, Xing, Z and Wang, X 2021] HE, Z, LI, D, HAN, Y, ZHOU, M, XING, Z AND WANG, X: Noise control of a twin-screw refrigeration compressor. In: *International Journal of Refrigeration* 124 (2021), apr, S. 30–42. – ISSN 01407007
- [Héroux, M, Babisch, W, Belojevic, G, Brink, M, Janssen, S, Lercher, P, Paviotti, M, Pershagen, G, Wayne, K, Preis, A, Stansfeld, S, van den Berg, M and Verbeek, J 2015] HÉROUX, M, BABISCH, W, BELOJEVIC, G, BRINK, M, JANSSEN, S, LERCHER, P, PAVIOTTI, M, PERSHAGEN, G, WAYE, K, PREIS, A, STANSFELD, S, VAN DEN BERG, M AND VERBEEK, J: Who environmental noise guidelines for the European Region. In: *Euronoise 2015*, 2015, S. 2589–2593
- [Hirayama, S, Nakagami, H, Murakoshi, C and Nakamura, M 2008] HIRAYAMA, S, NAKAGAMI, H, MURAKOSHI, C AND NAKAMURA, M: International Comparison of Energy Efficiency Standard and Labels: Development Process and Implementation Phase. In: *Stanford University* (2008), S. 110–122
- [Hormaeche u. a. 2008] HORMAECHE, Jose ; PEREZ DE LABORDA, Alvaro ; SAENZ, Fulgencio: *El petróleo y la energía en la economía*. 2008. – 294 S. – ISBN 9788445727041
- [Hossieny u. a. 2019] HOSSIENY, Nemat ; OWUSU, Osei A. ; SHRESTHA, Som S. ; DESJARLAIS, Andre O.: Improved Performance of Polyurethane Foam Insulation Using Ingeo Biopolymer Liners and its Impact on Energy Efficiency of Refrigerator and Freezers, URL <https://www.osti.gov/biblio/1559679>, Mar 2019
- [Huse, C, Lucinda, C and Cardoso, A 2020] HUSE, C, LUCINDA, C AND CARDOSO, A: Consumer response to energy label policies: Evidence from the Brazilian energy label program. In: *Energy Policy* 138 (2020), mar. – URL [j.enpol.2019.111207](https://www.osti.gov/biblio/1559679)
- [IDEAM 2018] IDEAM: *Radiación Solar en Colombia*. 2018. – URL <https://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>
- [Ing Liang W and Krüger, E 2017] ING LIANG W AND KRÜGER, E: Comparing energy efficiency labelling systems in the EU and Brazil: Implications, challenges, barriers and opportunities. In: *Energy Policy* 109 (2017), Nr. July, S. 310–323. – ISSN 03014215
- [Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) 2016] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC): *Norma Técnica NTC 2252.Seguridad de Artefactos Electrodomésticos y Artefactos Similares. Parte 2: Requisitos Particulares para Refrigeradores, Fabricadores de Helado y Fabricadores de Hielo*. 2016
- [International Electrotechnical Commission (IEC) 2015a] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC): *IEC 62552-1*. 2015. – URL <https://webstore.iec.ch/publication/21805>. – Zugriffsdatum: 2022-07-04

- [International Electrotechnical Commission (IEC) 2015b] INTERNATIONAL ELECTRO-TECHNICAL COMMISSION (IEC): *IEC 62552-3*. 2015
- [International Electrotechnical Commission (IEC) 2020] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC): *IEC 62552-2*. 2020. – URL www.iec.ch
- [International Energy Agency (IEA)] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA): *E4 Country Profile: Energy Efficiency in Brazil*. – URL <https://www.iea.org/articles/e4-country-profile-energy-efficiency-in-brazil>],
urldate = 2022-06-29, year = 2021,
- [International Energy Agency (IEA) 2020] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA): Energy Efficiency 2020. In: *Energy Efficiency 2020* (2020), S. 105. – URL https://www.oecd-ilibrary.org/energy/energy-efficiency-2020_afd85134-en. ISBN9789264496729
- [International Energy Agency (IEA) 2021] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA): *Achievements of Energy Efficiency Appliance and Equipment Standards and Labelling Programmes*. 2021
- [International Organization for Standardization (ISO) 2007] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO): *ISO 15502*. 1 2007. – URL
- [Gesellschaft fur internationale 2019] INTERNATIONALE, Deutsche Gesellschaft fur: *Estudio : Etiquetado Energético para Artefactos Electrodomésticos, Septiembre 2019*. 2019
- [Isaza, C and Jara, N 2015] ISAZA, C AND JARA, N: Análisis comparativo de sistemas de refrigeración doméstica utilizando refrigerantes R600a y R134a. In: *Investigacion, Tecnologia Y Ciencia*, 1 (2015), dec, Nr. 9, S. 7–15. – URL
- [Jang, Y, Kang, M and Oh, Y 2020] JANG, Y, KANG, M AND OH, Y: A Study on the Sound Insulation and Absorption Design Plan which Affect the Noise Propagation from Household Appliances and Facilities in a House Using Room Acoustic Simulation. In: *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems* 14 (2020), Nr. 6, S. 767–778. – URL www.jkiaeb.org/articles/xml/b0LZ/
www.jkiaeb.org/articles/article/b0LZ/
- [Jara und Isaza-Roldan 2014] JARA, Nelson ; ISAZA-ROLDAN, Cesar: *Programas de Eficiencia Energética y Etiquetado en el Ecuador – Revisión del Estado Actual*, 2014
- [Jara, N 2018] JARA, N: *Impacto de las Políticas Energéticas en la Industria de la Fabricación de Refrigeradores Domésticos en Latinoamérica: Caso México, Colombia y Ecuador*, Universidad Pontificia Bolivariana, Dissertation, 2018. – 140 S

- [Kapici, E, Kutluay, E and Izadi, R 2022] KAPICI, E, KUTLUAY, E AND IZADI, R: A Novel Intelligent Control Method for Domestic Refrigerators Based on User Behavior. In: *International Journal of Refrigeration* 136 (2022), S. 209–218. – URL <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.01.017>. – ISSN 01407007
- [Karkova, Monika 2021] KARKOVA, MONIKA: *Energy Star*. 2021
- [Kelly 2012] KELLY, Geoff: Sustainability at home: Policy measures for energy-efficient appliances. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012), January, Nr. 9, S. 6851–6860. – URL <https://ro.uow.edu.au/gsbpapers/267>. – ISSN 13640321
- [Kigali Cooling Performance Program 2020] KIGALI COOLING PERFORMANCE PROGRAM: National Cooling Plan Proposal-Chile / National Cooling Plan Proposal (NCP). 2020. – Forschungsbericht
- [Kumar, K, Reddy, B and Chandra M 2021] KUMAR, K, REDDY, B AND CHANDRA M: Experimental Investigation on the Performance of Refrigerator with Nitrite Rubber and Glass Wool as Insulating Material. In: *Advances in Industrial Automation and Smart Manufacturing* Bd. 23. Springer, Singapore, 2021, S. 1013–1019. – URL https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-4739-3_87. – ISBN 9789811547386
- [Kyriazis Gregory A. und Christian 2021] KYRIAZIS GREGORY A., Göthner ; CHRISTIAN, Karl: Quality infrastructure for energy efficiency of household appliances in Latin America and the Caribbean. In: *Metrologia 18 a 21 de Outubro de 2021*, 2021, S. 1–9
- [Letschert, Virginie E, Mcneil, Michael A, Pavon, Mariana and Lutz 2013] LETSCHERT, VIRGINIE E, MCNEIL, MICHAEL A, PAVON, MARIANA AND LUTZ, Wolfgang F.: Design of Standards and Labeling programs in Chile: Techno-Economic Analysis for Refrigerators. In: *Proceedings of the 4th ELAEE Montevideo*, 2013, S. 18
- [Licitra 2015] LICITRA, Gaetano: Differences between the principles of the European national noise laws and those of the environmental noise directive. In: *Euronoise 2015*, URL <https://lc.cx/B-f1u8>, 2015, S. 1045–1048
- [Lutz 2002] LUTZ, Wolfgang F.: Eficiencia Energética y Desarrollo Sustentable en Europa y América Latina. In: *Foro Nacional “Promoviendo la Eficiencia Energética”*, URL <https://lc.cx/of3MyA>, 2002
- [Lutz 2009] LUTZ, Wolfgang F.: *Estándares de Eficiencia Energética y Etiquetado en Latinoamérica: el Tema de Alineación y Armonización*. 2009
- [Maclaine-Cross, I and Leonardi, E 1996] MACLAINE-CROSS, I AND LEONARDI, E: *Comparative Performance of Hydrocarbon Refrigerants*. 1996. – URL <https://hychill.com.au/content/3-info/cpohcr.pdf>

- [Marques, A, Gomez-Agustina, L, Dance, S, Hammond, E. and Wood, I. 2013] MARQUES, A, GOMEZ-AGUSTINA, L, DANCE, S, HAMMOND, E. AND WOOD, I.: Noise reduction in commercial refrigerators - A practical approach. In: *20th International Congress on Sound and Vibration 2013, ICSV 2013* Bd. 1, 2013, S. 753–760
- [McCarney, S, Robertson, J, Arnaud, J, Lorenson, K and Lloyd, J 2013] MCCARNEY, S, ROBERTSON, J, ARNAUD, J, LORENSON, K AND LLOYD, J: Using solar-powered refrigeration for vaccine storage where other sources of reliable electricity are inadequate or costly. In: *Vaccine* 31 (2013), dec, S. 6050–6057. – URL <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264410X13010670>. – ISSN 0264410X
- [McNeil M, della Cava M, Blanco J, Quiros K and Lutz Wolfgang F 2008] MCNEIL M, DELLA CAVA M, BLANCO J, QUIROS K AND LUTZ WOLFGANF F: *Introducción a la normalización y etiquetado de eficiencia energética en Centroamérica*. 2008. – 36 S. – ISBN 9789968904100
- [Michel, A, Attali, S and Bush, E 2015] MICHEL, A, ATTALI, S AND BUSH, E: Energy efficiency of White Goods in Europe : monitoring the market with sales data / Association for the Development of Monfragüe and its Environment. 2015 (June). – Forschungsbericht. – 72 S
- [Ministério da Economia/Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia 2021] MINISTÉRIO DA ECONOMIA/INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA: *Portaria N^o 332, de 2 de agosto de 2021*. 2021
- [Ministerio de Energía Gobierno de Chile 2016] MINISTERIO DE ENERGÍA GOBIERNO DE CHILE: *Energía 2050. Política Energética de Chile. Informe de Seguimiento 2016* / Ministerio de Energía Gobierno de Chile. Santiago de Chile, 2016. – Forschungsbericht. – 1–164 S
- [Ministerio de Industria Turismo y Comercio de España 2007] MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO DE ESPAÑA: *Etiquetado Energético de los Electrodomésticos. Situación del Sector y Planes de Renovación de Electrodomésticos (2006-2007)*. 2007
- [Ministerio de Minas y Energía 2015] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA: *Reglamento Técnico de Etiquetado. RETIQ*. 2015
- [Ministerio de Minas y Energía 2017] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA: *Decreto 2143 de 2017*, 1 2017. – 40 S
- [Modi, A, Chaudhuri, A, Vijay, B and Mathur, J 2009] MODI, A, CHAUDHURI, A, VIJAY, B AND MATHUR, J: Performance analysis of a solar photovoltaic operated domestic refrigerator. In: *Applied Energy* 86 (2009), dec, Nr. 12, S. 2583–2591. –

URL <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030626190900172X>. – ISSN 03062619

- [Molenbroek, E, Smith, M, Surmeli, N, Schimschar, S, Waide, P, Tait, J, and Mcallister, C 2015] MOLENBROEK, E, SMITH, M, SURMELI, N, SCHIMSCHAR, S, WAIDE, P, TAIT, J, AND MCALLISTER, C: European Commission Savings and benefits of global regulations for energy efficient products / European Commission. URL <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Cost of Non-World - Final Report.pdf>, 2015. – Forschungsbericht. – 106 S
- [Morillon, G, Rosas, A and Flores, D 2010] MORILLON, G, ROSAS, A AND FLORESA, D: What goes up: Recent trends in Mexican residential energy use. In: *ENERGY* 35 (2010), Nr. 6, S. 2596–2602. – URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544210000174>
- [Mukhopadhyay, P and Chawla, H 2014] MUKHOPADHYAY, P AND CHAWLA, H: Approach to make smart grid a reality. In: *Proceedings of the 2014 International Conference on Advances in Energy Conversion Technologies - Intelligent Energy Management: Technologies and Challenges, ICAECT 2014*, 2014, S. 77–82. – ISBN 978-1-4799-2206-2
- [Murray, A and Mills, B 2011] MURRAY, A AND MILLS, B: Read the label! Energy Star appliance label awareness and uptake among U.S. consumers. In: *Energy Economics* 33 (2011), nov, Nr. 6, S. 1103–1110. – ISSN 01409883
- [Naciones Unidas 1998] NACIONES UNIDAS: Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático / Naciones Unidas. 1998. – Forschungsbericht. – 1–25 S. – ISBN 0897914252
- [Naciones Unidas 2015] NACIONES UNIDAS: *Convención Marco sobre el Cambio Climático*. 2015. – URL <file:///C:/Users/W7/Desktop/ufc.pdf>
- [Naciones Unidas 2018] NACIONES UNIDAS: La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe / Economic Commission for Latin America and the Caribbean. URL <https://1c.cx/OLA31>, 2018. – *Forschungsbericht*. – 93 – 123 S. – ISBN 978 – 92 – 1 – 058643 – 6
- [Nogueira, L, Cardoso, R Balbino Cavalcanti, C and Leonelli, P 2015] NOGUEIRA, L, CARDOSO, R BALBINO CAVALCANTI, C AND LEONELLI, P: Evaluation of the energy impacts of the Energy Efficiency Law in Brazil. In: *Energy for Sustainable Development* 24 (2015), feb, S. 58–69. – ISSN 23524669
- [de Normalizacion 2008] NORMALIZACION, Servicio E. de: *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEM 035*. 2008. – URL <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>

- [Onofri Salinas 2020] ONOFRI SALINAS, Alejandro M.: *Análisis del Impacto en el Consumo Eléctrico de la Implementación en Chile de la Política Pública de Estándares Mínimos de Eficiencia Energética para Lámparas Incandescentes*, Universidad de Chile, Pregrado, 2020. – 56 S
- [Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) 2017] ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA (OLADE): *Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: Avances y Oportunidades*. 2017
- [Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) 2020] ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA (OLADE): *Situación del consumo energético a nivel mundial y para América Latina y el Caribe (ALC) y sus perspectivas*. 2020. – URL <http://sielac.olade.org/>
- [Ouali, M, Djebiret, M, Ouali, R, Mokrane, M, Merzouk, N and Bouabdallah, A 2017] OUALI, M, DJEBIRET, M, OUALI, R, MOKRANE, M, MERZOUK, N AND BOUABDALLAH, A: Thermal control influence on energy efficiency in domestic refrigerator powered by photovoltaic. In: *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (2017), mar, Nr. 13, S. 8955–8961. – URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.06.134> <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360319916307972>. – ISSN 03603199
- [Para el Medio Ambiente, Programa de Naciones Unidas 2000] PARA EL MEDIO AMBIENTE, PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS: *Acción por el ozono*. 2000
- [Park, K, Kim, W and Won, J 2021] PARK, K, KIM, W AND WON, J: High-Frequency Noise Reduction in Mechanical Compartment of a Household Refrigerator via Dynamic Absorber Design. In: *Journal of Vibration Engineering Technologies* 9 (2021), apr, Nr. 3, S. 477–490. – URL <https://link.springer.com/article/10.1007/s42417-020-00242-1> <https://link.springer.com/10.1007/s42417-020-00242-1>. – ISSN 2523-3920
- [Park, W, Shah, N and Phadke, A 2019] PARK, W, SHAH, N AND PHADKE, A: Enabling access to household refrigeration services through cost reductions from energy efficiency improvements. In: *Energy Efficiency* 12 (2019), oct, Nr. 7, S. 1795–1819. – URL <https://link.springer.com/article/10.1007/s12053-019-09807-w>. – ISSN 15706478
- [Parlamento Europeo 2017] PARLAMENTO EUROPEO: *Reglamento Delegado (UE) 2017/1926 de la Comisión de 31 de mayo de 2017*. 2017
- [Parlamento Europeo y Consejo Europeo 2018] PARLAMENTO EUROPEO Y CONSEJO EUROPEO: *Directiva 2018/2002/UE Por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética*. 2018. – URL <https://lc.cx/AUPNkM>

- [Planelles Manuel 2021] PLANELLES MANUEL: *La Humanidad Sigue Enganchada al Petróleo, al Gas Natural y al Carbón*. 2021. – URL <https://1c.cx/fycuRw>. – Zugriffsdatum: 2023-02-16
- [Poveda 2007] POVEDA, Mentor: Eficiencia Energética: Recurso no aprovechado. URL www.olade.org, 2007. – Forschungsbericht. – 25 S
- [Programa de Estudios e Investigaciones en Energia 2010] PROGRAMA DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES EN ENERGIA: Estudio de Bases para la Elaboración de un Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2010-2020 / universidad de chile. 2010. – Forschungsbericht. – 1–554 S
- [Rahman, K, Leman, A, Mansor, L, Salleh, M, Yusof, M, and Mahathir, M 2016] RAHMAN, K, LEMAN, A, MANSOR, L, SALLEH, M, YUSOF, M, AND MAHATHIR, M: Energy Efficiency: The Implementation of Minimum Energy Performance Standard (MEPS) Application on Home Appliances for Residential. In: *Matec Web of Conferences* Bd. 78, 2016. – ISSN 2261236X
- [Rajkumar, M and Rathinam, A. 2018] RAJKUMAR, M AND RATHINAM, A.: Effective power sharing between Solar Refrigerator and DC Micro Grid. In: *2018 International Conference on Power Electronics (IEEE), Drives and Energy Systems (PEDES)*, IEEE, dec 2018, S. 1–4. – URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/8707802/>. – ISBN 978-1-5386-9316-2
- [Ramírez Sánchez u. a. 2022] RAMÍREZ SÁNCHEZ, Andrés Felipe ; SOLÍS-CHAVES, Juan S. ; RODRÍGUEZ-MUÑOZ, Andrea del P. ; ARIAS BARRAGÁN, Luis A. ; SERNA-PÉREZ, Diana X. ; PRÍAS CAICEDO, Omar F.: Residential Refrigeration MEPS in Colombia: A Review and a Comparative Analysis. In: *Energies* 15 (2022), Nr. 17, S. 1–35. – ISSN 19961073
- [Ren, H, Tibbs, M, McLauchlan, C, Ma, Z and Harrington, L 2021] REN, H, TIBBS, M, MCLAUHLAN, C, MA, Z AND HARRINGTON, L: Refrigerator cost trap for low-income households: Developments in measurement and verification of appliance replacements. In: *Energy for Sustainable Development* 60 (2021), feb, S. 1–14. – ISSN 23524669
- [Romero, J 2005] ROMERO, J: Regulación de la eficiencia energética: el caso del etiquetado. In: *Revista Derecho Administrativo Económico* 73 (2005), Nr. 14, S. 73–94. – ISSN 07174888
- [Rosin, A, Auvaart, A, and Lebedev, D 2012] ROSIN, A, AUVAART, A, AND LEBEDEV, D: Analysis of Operation Times and Electrical Storage Dimensioning for Energy Consumption Shifting and Balancing in Residential Areas. In: *Electronics and Electrical Engineering* 120 (2012), apr, Nr. 4, S. 15–20. – URL

- <http://www.eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/1444>. – ISSN 2029-5731
- [Ríos, J and Olaya, Y 2018] RÍOS, J AND OLAYA, Y: A Dynamic Analysis of Strategies for Increasing Energy Efficiency of Refrigerators in Colombia. In: *Energy Efficiency* 11 (2018), dec, Nr. 3, S. 733–754. – URL <https://link.springer.com/article/10.1007/s12053-017-9601-9>. – ISSN 15706478
- [Sabry, A, Shallal, A, Hameed, H and Ker, P 2020] SABRY, A, SHALLAL, A, HAMEED, H AND KER, P: Compatibility of household appliances with DC microgrid for PV systems. In: *Heliyon* 6 (2020), dec, Nr. 12, S. e05699. – URL <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844020325421>. – ISSN 24058440
- [Sanches, A Tudeschini, L and Coelho, S 2016] SANCHES, A TUDESCHINI, L AND COELHO, S: Evolution of the Brazilian residential carbon footprint based on direct energy consumption. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54 (2016), S. 184–201. – URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.024>. – ISSN 18790690
- [Sánchez, D, Andreu-Nácher, A, Calleja-Anta, D, Llopis, R and Cabello, R 2022] SÁNCHEZ, D, ANDREU-NÁCHER, A, CALLEJA-ANTA, D, LLOPIS, R AND CABELLO, R: Energy impact evaluation of different low-GWP alternatives to replace R134a in a beverage cooler. Experimental analysis and optimization for the pure refrigerants R152a, R1234yf, R290, R1270, R600a and R744. In: *Energy Conversion and Management* 256 (2022), mar. – ISSN 01968904
- [Sasaki, H, Sakata, I, Wangjiraniran, W and Phrakonkham, S 2015] SASAKI, H, SAKATA, I, WANGJIRANIRAN, W AND PHRAKONKHAM, S: Appliance Diffusion Model for Energy Efficiency Standards and Labeling Evaluation in the Capital of Lao PDR. In: *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems* 3 (2015), sep, Nr. 3, S. 269–281. – ISSN 18489257
- [Schleich und Brugger 2021] SCHLEICH, Antoine ; BRUGGER, Heike.: How effective are EU minimum energy performance standards and energy labels for cold appliances? In: *Energy Policy* 149 (2021), feb. – ISSN 03014215
- [Schloss, Miguel 2021] SCHLOSS, MIGUEL: COP 26: ¿hacia dónde se va? In: *Conferencia de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático Cop26, 2021*
- [Schubert, T, Breitschopf, B and Plötz, P 2021] SCHUBERT, T, BREITSCHOPF, B AND PLÖTZ, P: Energy efficiency and the direct and indirect effects of energy audits and implementation support programmes in Germany. In: *Energy Policy* 157 (2021), oct. – ISSN 03014215

- [Secretaría de Energía (SENER) 2018] SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER): Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE) / Secretaría de Energía. 2018. – Forschungsbericht. – 12 S. – ISBN 9788578110796
- [Secretaria de la Carta internacional de la energia 2015] SECRETARIA DE LA CARTA INTERNACIONAL DE LA ENERGIA: Carta Internacional de la Energía. Conferencia Ministerial sobre la Carta Internacional de la Energía. In: *Conferencia ministerial sobre la carta internacional de la energía el 20 de mayo de 2015.*, URL <https://lc.cx/0ikGWX>, 2015, S. 44
- [Secretaría del Ozono 2016] SECRETARÍA DEL OZONO: *Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono.* 2016
- [Stadelmann, M and Schubert, R 2018] STADELMANN, M AND SCHUBERT, R: How Do Different Designs of Energy Labels Influence Purchases of Household Appliances? A Field Study in Switzerland. In: *Ecological Economics* 144 (2018), Nr. August 2017, S. 112–123. – URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.031>. – ISSN 09218009
- [Standardization International for Organization (ISO) 2002] STANDARDIZATION INTERNATIONAL FOR ORGANIZATION (ISO): *IEC 60335-2-24.* 1 2002
- [Su, P, Ji, J, Cai, J, Gao, Y and Han, K 2020] SU, P, JI, J, CAI, J, GAO, Y AND HAN, K: Dynamic simulation and experimental study of a variable speed photovoltaic DC refrigerator. In: *Renewable Energy* 152 (2020), jun, S. 155–164. – URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148120300525> <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148120300525>. – ISSN 09601481
- [Tanides Carlos 2007] TANIDES CARLOS: Primera evaluación del impacto de la etiqueta de eficiencia energética en los refrigeradores y congeladores de la argentina. In: *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 11 (2007), S. 23–29. – URL <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/93029>. – ISSN 0329-5184
- [Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) 2018] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME): Comunicado de Prensa no . 009- 2018 / Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). 2018. – Forschungsbericht
- [Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) 2015] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME): *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050.* 2015. – URL http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_idearioEnergetico2050.pdf
- [Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) 2020] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGTICA (UPME): *Proyección Demanda Energéticos ante el Covid-19.* 2020

- [Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) 2017] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME): *Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017-2022*. 2017. – URL http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE2017-2022.pdf
- [Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) 2019] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME): *Primer Balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las Perdidas Energéticas Relacionadas y la Brecha de Eficiencia Energética, Resumen Ejecutivo BEU Sector Residencial y Terciario*. 2019
- [University of Birmingham 2018] UNIVERSITY OF BIRMINGHAM: A Cool World Defining the Energy Conundrum of Cooling for All / University of Birmingham. 2018. – Forschungsbericht. – 19 S
- [Vieira de Carvalho, A, Rojas, L, Mendez, P, Flamand, S, Couture-Roy, M, Langlois, P and Dufresne, V 2015] VIEIRA DE CARVALHO, A, ROJAS, L, MENDEZ, P, FLAMAND, S, COUTURE-ROY, M, LANGLOIS, P AND DUFRESNE, V: Guía E: Programas de normalización y etiquetado de eficiencia energética. In: *Guía E: Programas de normalización y etiquetado de eficiencia energética*. 2015, S. 64
- [Volker, K, Hirsch, M, and Delgado, F 2021] VOLKER, K, HIRSCH, M, AND DELGADO, F: Análisis de la Gestión Ambientalmente Responsable de Refrigeradores y Congeladores de uso Doméstico en Chile / Fundación de Chile. 2021. – Forschungsbericht. – 1–77 S
- [Wiel, S, Van, Laura and Lloyd, H 2004] WIEL, S, VAN, LAURA AND LLOYD, H: Energy Efficiency Standards and Labels in North America Opportunities for Harmonization / Grupo de Trabajo de Energía de América del Norte. 2004. – Forschungsbericht
- [Xia, Y, Liu, Y, Liu, Y, Ma, Y, Xiao, C and Wu, T 2014] XIA, Y, LIU, Y, LIU, Y, MA, Y, XIAO, C AND WU, T: Experimental study on reducing the noise of horizontal household freezers. In: *Applied Thermal Engineering* 68 (2014), jul, Nr. 1-2, S. 107–114. – URL <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359431114002506>. – ISSN 13594311
- [Youngboo Son, J and Lee, S 2021] YOUNGBOO SON, J AND LEE, S: Noise source identification of the hermetic reciprocating compressor for refrigerator | Springer Link. In: *Journal of Mechanical Science and Technology volume* 35 (2021), S. 4849–4858. – URL <https://link.springer.com/article/10.1007/s12206-021-1004-3>
- [Zainudin, N, Siwar, C, Choy, E and Chamhuri, N 2014] ZAINUDIN, N, SIWAR, C, CHOY, E AND CHAMHURI, N: Evaluating the Role of Energy Efficiency Label on Consumers' Purchasing Behaviour. In: *APCBEE Procedia* 10 (2014), jan, S. 326–330. – ISSN 22126708

- [Zhang, R. and Fu, Y. 2022] ZHANG, R. AND FU, Y.: Technological progress effects on energy efficiency from the perspective of technological innovation and technology introduction: An empirical study of Guangdong, China. In: *Energy Reports* 8 (2022), S. 425–437. – URL <https://doi.org/10.1016/j.egyр.2021.11.282>. – ISSN 23524847