

Informe sobre
la relación entre

CONTAMINANTES CLIMÁTICOS DE VIDA CORTA Y COCCIÓN RURAL

en el sector residencial

Estudio Prospectivo aplicado a
Colombia, México y Perú

Elaborado por Microsol
por encargo de
Coalición Clima y Aire Limpio



**COALICIÓN
CLIMA Y
AIRE LIMPIO**
PARA REDUCIR
CONTAMINANTES
DE VIDA CORTA

© Microsol Perú
Calle Atahualpa 558 oficina 902, Miraflores, Lima - Perú
(51-1) 241-5660
E-mail: info@microsol-int.com
www.microsol-int.com

Autores: Arthur Laurent, Alejandra Muñoz, Claire Cuisset
Revisión: Red Latinoamericana y del Caribe de Cocinas Limpias
Agradecimientos: Luisa Fernanda Gonzalez Herrera, Yekbun Gurgoz, José Abraham Ortínez Álvarez, Marisela Rícardez García, Carolina Trimiño Barbosa
Edición y corrección de estilo: Alejandra Visscher
Diseño y diagramación: Franco Laynes
Fotografías: Microsol/Annabelle Avril

Publicado en 2018

Contenido

Resumen ejecutivo	10
1 Introducción	13
2 Análisis descriptivo de la cocción rural	15
2.1 Perú	15
2.2 Colombia	16
2.3 México	18
3 Metodología	20
3.1 Desarrollo del estudio	20
3.2 Alcance del estudio	20
3.2.1 Cocción rural	20
3.2.2 Tecnologías y combustibles	21
3.2.3 Contaminantes Climáticos de Vida Corta	21
3.3 Variables consideradas	22
3.3.1 Consumo de combustibles	22
3.3.2 Factores de emisión de CCVC	23
3.3.3 Costos de las tecnologías	23
3.3.4 Costos de los combustibles	25
3.4 Definición de los escenarios del estudio	26
3.4.1 Escenario de referencia	26
3.4.2 Escenarios de mitigación	26
3.5 Fórmulas de cálculo	28
3.5.1 Emisiones de CCVC	28
3.5.2 Costo de implementación	29
3.5.3 Costo de mantenimiento	29
3.5.4 Costo del combustible	29
4 Análisis de las emisiones de CCVC según escenario de mitigación	30
4.1 Perú	30
4.1.1 Insumos	30
4.1.2 Comparación de las emisiones de CCVC entre escenarios	30
4.2 Colombia	32

4.2.1	Insumos	32
4.2.2	Comparación de las emisiones de CCVC entre escenarios	32
4.3	México	34
4.3.1	Insumos	34
4.3.2	Comparación de las emisiones de CCVC entre escenarios	34
4.4	Comparación entre países	36
5	Estimación de los costos requeridos para la implementación de cada escenario de mitigación	39
5.1	Perú	39
5.1.1	Insumos	39
5.1.2	Comparación del costo de implementación entre escenarios	40
5.1.3	Comparación del costo de operación entre escenarios	40
5.1.4	Comparación del costo total entre escenarios	41
5.2	Colombia	42
5.2.1	Insumos	42
5.2.2	Comparación del costo de implementación entre escenarios	42
5.2.3	Comparación del costo de operación entre escenarios	42
5.2.4	Comparación del costo total entre escenarios	43
5.3	México	44
5.3.1	Insumos	44
5.3.2	Comparación del costo de implementación entre escenarios	44
5.3.3	Comparación del costo de operación entre escenarios	45
5.3.4	Comparación del costo total entre escenarios	45
5.4	Comparación entre países	46

6	Evaluación del costo de reducción de una tonelada de CCVC	48
6.1	Perú	48
6.2	Colombia	49
6.3	México	51
6.4	Comparación entre países	52
7	Conclusiones	55
7.1	Reducción de emisiones de CCVC	55
7.2	Costos de implementación y operación	56
7.3	Costos de reducción por tonelada de CCVC	57
7.4	Conclusión final	58
8	Recomendaciones	60
8.1	Reducción de emisiones de CCVC	60
8.2	Costos de implementación y operación	61
8.3	Costos de reducción por tonelada de CCVC	61
9	Limitaciones del estudio	62
9.1	Reducción de emisiones de CCVC	62
9.2	Costos de implementación y operación	63
10	Bibliografía	64

Índice de gráficos

Gráfico 1. Emisiones de carbono negro para los diferentes escenarios en Perú	32
Gráfico 2. Emisiones de carbono negro para los diferentes escenarios en Colombia	34
Gráfico 3. Emisiones de carbono negro para los diferentes escenarios en México	35
Gráfico 4. Emisiones totales por contaminante en cada país	37
Gráfico 5. Costo anual de implementación de los diferentes escenarios en Perú	40
Gráfico 6. Costo de operación de las tecnologías en los diferentes escenarios en Perú	40
Gráfico 7. Costo total de los diferentes escenarios en Perú	41
Gráfico 8. Costo anual de implementación de los diferentes escenarios en Colombia	42
Gráfico 9. Costo de operación de las tecnologías en los diferentes escenarios en Colombia	43
Gráfico 10. Costo total de los diferentes escenarios en Colombia	43
Gráfico 11. Costo anual de implementación de los diferentes escenarios en México	44
Gráfico 12. Costo de operación de las tecnologías en los diferentes escenarios en México	44
Gráfico 13. Costo total de los diferentes escenarios en México	45
Gráfico 14. Costo total por escenario y país	47
Gráfico 15. Costo total por tonelada de carbono negro reducida en los diferentes escenarios en Perú	49
Gráfico 16. Costo total por tonelada de carbono negro reducida en los diferentes escenarios en Colombia	50
Gráfico 17. Costo total por tonelada de carbono negro reducida en los diferentes escenarios en México	51
Gráfico 18. Costo promedio para reducir una tonelada de CCVC en cada país	53

Índice de tablas

Tabla 1. Tecnologías y combustibles a considerar en el estudio	21
Tabla 2. Tipo de mantenimiento por tipo de tecnología	24
Tabla 3. Supuestos para el escenario 1	26
Tabla 4. Supuestos para el escenario 2	27
Tabla 5. Supuestos para el escenario 3	28
Tabla 6. Consumo energético por tecnología en Perú	30
Tabla 7. Factores de emisión para Perú	31
Tabla 8. Emisiones y reducción porcentual por escenario y contaminante en Perú	31
Tabla 9. Consumo energético por tecnología en Colombia	32
Tabla 10. Factores de emisión para Colombia	33
Tabla 11. Emisiones y reducción porcentual por escenario y contaminante en Colombia	33
Tabla 12. Consumo energético por tecnología en México	34
Tabla 13. Factores de emisión para México	34
Tabla 14. Emisiones y reducción porcentual por escenario y contaminante en México	35
Tabla 15. Resumen de variables utilizadas para los cálculos en cada país	36
Tabla 16. Resumen de emisiones totales por contaminante en cada país	38
Tabla 17. Costos de implementación y mantenimiento por tecnología en Perú	39
Tabla 18. Costos de implementación y mantenimiento por tecnología en Colombia	42
Tabla 19. Costos de implementación y mantenimiento por tecnología en México	44
Tabla 20. Resumen de variables utilizadas para los cálculos en cada país	46
Tabla 21. Resumen de costos totales por cada escenario	47
Tabla 22. Costo promedio de reducción de una tonelada de CCVC en Perú	48
Tabla 23. Costo promedio de reducción de una tonelada de CCVC en Colombia	50
Tabla 24. Costo promedio de reducción de una tonelada de CCVC en México	51
Tabla 25. Resumen de variables utilizadas para los cálculos en cada país	52
Tabla 26. Resumen de costos promedios de reducción de una tonelada de CCVC	54

Acrónimos y siglas

(s.f.)	Sin fecha
CCAL	Coalición Clima y Aire Limpio
CCENERGÍA	Cámara Colombiana de la Energía
CCVC	Contaminantes Climáticos de Vida Corta
CH₄	Metano
CM	Cocina mejorada
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CN	Carbono negro
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
COP	Conferencia de las Partes
COVNM	Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos al Metano
CRE	Comisión Reguladora de Energía (México)
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Colombia)
DICONSA	Distribuidora e Impulsadora Comercial Conasupo, S.A. de C.V.
ECDBC	Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono
EnDev	Proyecto Energía, Desarrollo y Vida de GIZ
ECV	Encuesta de Calidad de Vida de Colombia
ERCUE	Encuesta Residencial de Consumo y Uso de Energía de Perú
FIDECOP	Fondo de Innovación y Desarrollo de Cocinas Portátiles
FISE	Fondo de Inclusión Social Energético
GACC	Global Alliance for Clean Cookstoves (Alianza Global para Estufas Limpias)
GIRA	Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, A.C.
GIZ	Cooperación Alemana al Desarrollo
GLP	Gas Licuado de Petróleo
HFC	Hidrofluorocarbonos
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática (Perú)
KPT	Kitchen Performance Test
LEAP	Long-range Energy Alternatives Planning System
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Colombia)
MINEM	Ministerio de Energía y Minas (Perú)
MinMinas	Ministerio de Minas y Energía (Colombia)
NOX	Óxidos de nitrógeno
O₃	Ozono troposférico
OIT	Organización Internacional del Trabajo
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPECU	Organismo Peruano de Consumidores y Usuarios
OPS	Organización Panamericana de la Salud
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Perú)

PND	Plan Nacional de Desarrollo (Colombia)
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PROURE	Plan de Uso Racional y Eficiente de la Energía (Colombia)
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (México)
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social (México)
SENCICO	Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (Perú)
SNAP	Supporting National Action and Planning on SCLPs (Planificación Nacional sobre Contaminantes Climáticos de Vida Corta)
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNOPS	United Nations Office for Project Services (Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos)
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética (Colombia)
VRAEM	Valle de los ríos Apurímac, Ene, Mantaro
WBT	Water Boiling Test (Prueba de ebullición del agua)

Tipo de cambio:

US\$ 1 = 2.941,86	Pesos colombianos
US\$ 1 = 18,90	Pesos mexicanos
US\$ 1 = 3,22	Soles peruanos



Resumen Ejecutivo

El presente estudio tiene como objetivo presentar los resultados obtenidos al utilizar un modelo planteado por Microsol referente a la cocción en hogares de zonas rurales entre 2018-2030, con datos de tres países: Colombia, México y Perú. De esta forma, se busca presentar una herramienta que sirva para la toma de decisiones en los países de la región que trabajan o empiecen a trabajar en la reducción de emisiones de Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC) para mantener la temperatura global en el corto plazo.

Al ser un estudio de alcance regional se realizaron supuestos, para limitar el análisis, y de esta manera poder lograr el objetivo. Al evaluar la relación entre las emisiones de CCVC y la cocción se decidió enfocarlo en las zonas rurales en situación de pobreza, donde el principal combustible para preparar los alimentos es la leña, cuya combustión incompleta constituye una fuente significativa de carbono negro, entre otros contaminantes (Bond et al., 2013). Como parte de este enfoque y conociendo que el fogón abierto es el

medio de cocción que se utiliza mayormente en las zonas rurales, se decidió evaluar la implementación de dos tecnologías: cocinas mejoradas (CM) y cocinas a GLP, ya que se asumió que la población en estudio no tiene acceso a electricidad ni a gas natural. Con respecto a los CCVC considerados, se definió calcular, bajo el modelo que Microsol plantea, las emisiones de carbono negro (CN), además de otros contaminantes que son precursores del ozono troposférico (O_3): el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVNM), los cuales son emitidos durante la quema de biomasa.

Para poder realizar un análisis regional, se tomaron en cuenta los tres países ya mencionados: Colombia, México y Perú. De dichos países se buscó información referente al consumo energético por familia, factores de emisión de los CCVC, costos de tecnologías y combustibles, entre otros. Luego, se formularon tres escenarios de mitigación donde se consideró la implementación de las tecnologías

con diferentes tasas de adopción y uso: i) escenario de apoyo a cocinas a GLP, ii) escenario de apoyo a CM, y iii) escenario de estrategia mixta, combinando CM y cocinas a GLP. Para realizar los cálculos se planteó una población muestra de 100.000 familias para los tres países, y se midieron y analizaron las emisiones de CCVC y los costos durante 13 años (2018-2030).

La presentación de los resultados se dividió en tres secciones, las cuales responden a preguntas referidas a: i) las emisiones de CCVC, ii) los costos totales de cada escenario, y iii) la relación entre el costo total y la reducción de emisiones de CCVC. De esta manera las respuestas a estas preguntas se describen a continuación:

a) Con respecto a las emisiones, ¿cómo afecta el uso de diferentes tecnologías de cocción a la emisión de CCVC? ¿La relación entre las emisiones de CCVC y las tecnologías difiere según los países de la región?

Las emisiones más bajas se consiguieron al asumir un escenario de estrategia mixta porque se adoptan las dos tecnologías y dado que la sustitución de fogones abiertos es mayor. Por otro lado, el escenario de apoyo a GLP es el que presenta las emisiones más altas debido a la baja tasa de uso que tienen las cocinas a gas en el modelo planteado. Finalmente, es en el escenario de apoyo a CM donde se logra una reducción intermedia, pero considerable.

Esta tendencia y la relación entre los escenarios se mantiene en los tres países evaluados, aunque los valores absolutos de emisiones sí varían, por los distintos valores de consumo energético y factores de emisión considerados.

b) Con relación a los costos totales, ¿cómo varía el costo de adopción de cada escenario planteado? ¿Cómo se diferencian estos costos en cada país?

Los costos totales incluyen la implementación de las cocinas y el costo de operación, compuesto por el consumo de combustible y actividades de mantenimiento. En el presente informe se realiza un análisis de cada tipo de costo, y del costo total.

Al analizar los resultados, se observa que el escenario que implica mayor inversión es la estrategia mixta en dos de los tres países, ya que incluye a dos tecnologías de forma simultánea. Luego, al observar los costos con respecto a los otros dos escenarios, se obtuvieron resultados distintos por país. Para Perú y México, la mejor alternativa en términos de costos totales absolutos es adoptar un escenario de implementación masiva de CM. Mientras que para Colombia, la mejor opción es el escenario de apoyo al GLP, ya que los altos costos de las CM influyen de manera significativa en los resultados obtenidos.

Además, cuando se realizó el análisis detallado por tipo de costo, se vio que es el escenario de apoyo a CM el que presenta menores costos de operación en los tres países; porque la necesidad de compra de GLP es un gasto constante en la canasta familiar de las viviendas rurales y encarece la alternativa del escenario de apoyo al GLP cuando la implementación de CM permite reducir el gasto en combustible para las familias que compran leña.

c) ¿Qué escenario permite una mayor reducción al menor costo?

Para la reducción de los contaminantes evaluados en los tres países, la opción óptima con los supuestos planteados, es adoptar una política de apoyo a la implementación masiva de CM (escenario 2). Esto debido al alto potencial de reducción que presenta este escenario y bajos costos de operación en comparación con la adopción de cocinas a GLP.

Como conclusión general si bien este estudio presenta limitaciones, permite la comparación de tres escenarios de mitigación, los cuales tienen características que probablemente se mantengan en el tiempo o las diferencias entre ellos incluso sean mayores, ya que es posible que el precio del GLP aumente y/o se reduzcan los costos de implementación de las CM por un mayor desarrollo tecnológico en ciertos países.

Es claro que lo que se busca para poder tener mejores resultados al reducir las emisiones de los CCVC es eliminar el uso de fogones abiertos

para cocción en zonas rurales. Sin embargo, se entiende que para lograr este objetivo es importante plantearse un abanico de alternativas tecnológicas y de combustibles, incluyendo el uso de combustibles sólidos como la leña. El escenario de estrategia combinada de CM y cocinas a GLP presenta en este estudio mayores reducciones de emisiones de CCVC, puesto que permite eliminar en mayor proporción el uso de fogones abiertos. No obstante, se debe tomar en cuenta que el GLP, siendo un derivado de combustible fósil, no puede ser considerado como una solución sustentable. Además, iniciar la transición al uso de CM y cocinas a GLP de todas las familias que siguen utilizando

fogones abiertos no se dará necesariamente en el corto plazo. En consecuencia, sería ideal evaluar a la población objetivo, y según su capacidad de pago y acceso al suministro de otras fuentes de energía, aplicar la estrategia más adecuada.

Al mismo tiempo, se debe entender que este estudio no es aplicable a todo un país o Latinoamérica, porque cada uno de ellos tiene particularidades, las cuales se deben tener en cuenta al plantear los modelos óptimos, a fin de tener las mayores reducciones de emisiones de CCVC y poder cuidar el clima, así como la salud de las familias.



1. Introducción

Durante la vigésima primera Conferencia de las Partes (COP21) en el 2015 se firmó el compromiso de todos los países miembros de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) de mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C sobre los niveles preindustriales. En este contexto, se evidenció la importancia de la reducción de las emisiones de CCVC y se firmó un compromiso donde 50 países y directores de 60 organizaciones socias de la Coalición Clima y Aire Limpio (CCAL) aceptaron trabajar juntos en la reducción de las emisiones de estos contaminantes (CCAL, 2015).

Los principales CCVC son el carbón negro (CN), metano (CH₄), ozono troposférico (O₃) e hidrofluorocarbonos (HFC). Estos agentes son considerados forzadores climáticos que afectan la calidad del aire, la salud de las personas y alteran los ecosistemas. Sin embargo, al permanecer por poco tiempo en la atmósfera, aproximadamente quince años (CCAL, 2014), si se

llegan a controlar y reducir sus emisiones, se podrían observar beneficios en el corto plazo. Por consiguiente, los países miembros vieron como una oportunidad trabajar en la reducción de emisiones de CCVC. No obstante, es importante resaltar que este trabajo es complementario a los esfuerzos por disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), ya que para mantener el clima global se deben también mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero de larga vida.

Los CCVC provienen de distintas fuentes, dentro de las cuales se encuentra la combustión de combustibles sólidos. En el año 2016, el Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (PNUMA) y CCAL identificaron las oportunidades de mitigación de CCVC según sectores clave en Latinoamérica y El Caribe. En dicho estudio se identificó que dentro del sector residencial la cocción de alimentos constituye una importante fuente de emisiones de CN y de monóxido de carbono (CO), siendo este último

¹ Los COVNM son también gases precursores del ozono troposférico.

precursor de O3. La principal preocupación en la preparación de alimentos es la forma poco eficiente del uso de la leña en fogones abiertos, donde las emisiones de CN, CO y compuestos orgánicos volátiles distintos al metano¹ (COVNM) son considerables, afectando al ambiente y la salud de los usuarios. En efecto, la combustión de combustibles sólidos para cocción y calefacción produce aproximadamente el 25% de las emisiones antropogénicas totales de carbono negro (Bond et al., 2013).

En referencia a América Latina y el Caribe, aunque eminentemente urbana, aún gran parte de su población habita en el campo donde la pobreza es persistente y la distancia a los centros de consumo es amplia, es decir, no existe integración territorial (OIT, 2012). De esta manera, en esta región 90 millones de personas (15% de la población total) dependen todavía de los combustibles sólidos, principalmente la leña, la cual utilizan para la cocción de alimentos y calefacción (OPS, 2015). Además, se estima que estas dos actividades cotidianas resultan en la muerte anual de 82.000 personas en América Latina y el Caribe (OMS, 2014). Por ello, es esencial evaluar las posibles alternativas al uso de fogones abiertos y tomar las medidas necesarias en cada país para lograr una cocción limpia para toda la población, y así reducir las emisiones de CCVC y mejorar la salud de las personas que se encuentran en situación de vulnerabilidad.

Actualmente, en la región se vienen realizando esfuerzos para conocer las principales fuentes de CCVC a nivel nacional y generar planes de acción. Por ejemplo, México se encuentra trabajando en la actualización del “Informe Final sobre el Apoyo a la Iniciativa de Planificación Nacional sobre Contaminantes Climáticos de Vida Corta en México” que presentaron en el 2013 y que fue desarrollado con ayuda del software LEAP², donde utilizaron datos nacionales de consumo provenientes del Balance Nacional de Energía, consideraron una tecnología (cocinas mejoradas) y definieron dos escenarios de mitigación para cocción en el sector residencial. Por otro lado, Perú se encuentra en la fase de revisión del primer inventario de emisiones de CCVC y contaminantes criterio, cuyo documento final se espera publicar durante en el 2018.

El presente estudio muestra un análisis específico para cocción rural en poblaciones pobres con datos de consumo por familia en una población muestra de tres países latinoamericanos: Perú, Colombia y México, y brinda resultados según tres escenarios de mitigación

planteados por Microsol. Estos últimos consideran la implementación en diferentes proporciones de dos tecnologías: las cocinas mejoradas y las cocinas a GLP, que son las que mayormente se utilizan en las zonas rurales de la región para reemplazar los fogones abiertos, y podrían ser difundidas a gran escala y corto plazo con menor dificultad³. Es importante mencionar que para la formulación de cada escenario se consideraron diferentes tasas de uso por cada tecnología, esto último con el objetivo de que los escenarios planteados reflejen tres políticas distintas y así poder analizar los resultados obtenidos desde tres puntos de vista: i) el punto de vista ambiental, estimando las reducciones de CCVC alcanzadas; ii) desde una perspectiva económica, evaluando los costos totales necesarios para la implementación y operación de estas nuevas tecnologías; y iii) analizando la relación costo/reducción de emisiones para poder conocer la alternativa más pertinente.

En resumen, este estudio tiene como fin generar información cuantitativa que pueda servir para tomar decisiones con relación a la cocción limpia en zonas rurales, y de esta manera, la región pueda avanzar en la reducción de emisiones de CCVC para cumplir con los compromisos ambientales para el 2030.



² El «Long-range Energy Alternatives Planning» (LEAP) es un sistema de planificación energética desarrollado por el Stockholm Environment Institute.

³ En comparación con otras alternativas como el biogás, las cocinas solares, las cocinas a inducción, etc.



2. Análisis descriptivo de la cocción rural

2.1 Perú

En Perú, uno de los principales combustibles utilizados para la cocción de alimentos en las zonas rurales pobres es la leña⁴. Sin embargo, la forma en que la leña es utilizada tradicionalmente es, en su mayoría, poco eficiente. Se conoce que para el año 2009, eran 2,7 millones de viviendas las que cocinaban en fogones abiertos (Moreno, 2018).

No obstante, debido a los problemas de salud y ambientales que conlleva este uso insostenible, desde la década de 1980 se empezó a impulsar -desde la sociedad civil- el uso de cocinas mejoradas (GACC, 2012a). Luego, a mediados de la década del 2000, el Instituto de Trabajo y Familia incluyó la implementación masiva de cocinas mejoradas en el marco del programa Sembrando con el fin de combatir la desnutrición crónica infantil, alcanzando hasta 30.000 beneficiados al año.

A partir del 2008, este trabajo se articuló con los mercados de bonos de carbono a través del programa Qori Q'oncha para la certificación de proyectos de cocinas mejoradas en Perú (Laurent, 2014). El siguiente año, el gobierno peruano mostró su participación con el lanzamiento de la campaña nacional "Medio millón de cocinas mejoradas, por un Perú sin humo", respaldada por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ). Por medio de esta campaña, se autorizó a los gobiernos regionales y locales a usar el 5% del canon, sobrecanon y regalías mineras (Decreto de Urgencia N° 069-2009) para implementar proyectos de cocinas mejoradas certificadas, agua segura y manejo de excretas, iniciativa que permitió la masificación de cocinas mejoradas fijas, principalmente del modelo

⁴ Según INEI (2016), el 41,4% de la población utiliza leña y el 41,4% utiliza gas y otro combustible.

Inkawasi, en varias regiones del Perú (Colectivo de Acceso Básico de Energía, 2017).

En el año 2009, el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) promovió a través del programa NINA (posteriormente Cocina Perú) la implementación de cocinas a GLP y cocinas mejoradas⁵ en las zonas del valle de los ríos Apurímac, Ene, Mantaro (VRAEM), cuyo objetivo era reemplazar el uso de kerosene. A partir de este año, la cobertura de la intervención se amplió a otras zonas del país.

En este contexto, las instituciones vieron pertinente que las cocinas mejoradas instaladas cumplan con ciertos requisitos para asegurar condiciones mínimas al ser usadas. De esta manera, el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) fue elegido ente certificador en el país, a través del Decreto Supremo N° 015-2009-VIVIENDA. SENCICO evalúa las cocinas siguiendo un reglamento de evaluación en laboratorio, que incluye aspectos de contaminación, seguridad y eficiencia energética.

Por otro lado, con respecto a la promoción del uso de GLP, se tiene al Fondo de Inclusión Social Energético (FISE)⁶, el cual promueve el uso de GLP en los sectores urbanos y rurales del país a través de un subsidio en la compra del balón de gas, y si la

familia no cuenta con una cocina a gas, el Estado le dona una. De esta manera, se ha ampliado la cobertura del GLP; sin embargo, se han visto algunas dificultades para mantener este subsidio, dado que el costo de este combustible depende del mercado internacional y del abastecimiento por importación (Colectivo de Acceso Básico de Energía, 2017). Además, los usuarios de leña en las zonas rurales del país, generalmente recolectan la madera sin costo directo alguno, lo cual explica esta preferencia de consumo frente al GLP (GACC, 2012a).

En cuanto a los hábitos de cocción, en zonas rurales donde se usa leña para cocinar, existen diferencias en las preparaciones de comida y hábitos de cocina según la región y nivel de ingresos; sin embargo, existe cierta semejanza dentro de cada país. Las principales preparaciones son arroz, maíz, papa, trigo y sopas. Además, si el ingreso familiar lo permite, se consume carne (pollo, pescado, cuy y chancho) una vez a la semana. La preparación del almuerzo toma aproximadamente entre media hora a dos horas, es llevada a cabo principalmente por las mujeres, y se realiza dentro de las viviendas. Finalmente, en cuanto a los requerimientos de la cocina a usar, se denota que son necesarios mínimo dos quemadores donde se pueda cocinar con diferentes tamaños de ollas (GACC, 2012a).

2.2 Colombia

El consumo de leña en Colombia es importante, en especial para las familias de las zonas rurales, donde se concentra su uso. Según cifras de la Encuesta de Calidad de Vida (ECV) del 2013, del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 1,6 millones de familias utilizan leña diariamente para la cocción, de las cuales, el 88% se sitúan en la zona rural del país. Sin embargo, generalmente la leña es usada de forma ineficiente en fogones abiertos, causando problemas de salud y contaminación.

Para combatir esta problemática se conoce que en Colombia se vienen instalando cocinas mejoradas desde la década de 1980; sin embargo, solo se cuenta con información detallada desde el 2009. Hasta el 2014, se habían instalado alrededor de 30.000 cocinas (MADS, 2015), las cuales corresponden a 14 prototipos promovidos por autoridades ambientales,

varias ONG y el sector privado (MinMinas, 2016).

En el año 2015, tomando como referencia los siguientes documentos: "Plan Nacional de Desarrollo" (PND), la "Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono" (ECDBC) y el "Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía de Colombia", el Ministerio de Ambiente y Desarrollo (MADS) trabajó y desarrolló lo que a la fecha es el plan de referencia para la implementación de cocinas mejoradas en Colombia, llamado "Lineamientos para un programa nacional de estufas eficientes para cocción con leña".

De acuerdo con los lineamientos establecidos en el documento ya mencionado, se espera que para el año 2030 se beneficie aproximadamente a un millón de hogares de las zonas rurales y periurbanas del país. Además, uno de los resultados visibles de

⁵ En el Decreto Supremo N° 045-2009-EM: Sustitución del uso de kerosene como combustible por el gas licuado de petróleo.

⁶ FISE fue creado mediante la Ley 28853, que crea el Sistema de Seguridad Energética en Hidrocarburos, y el Fondo de Inclusión Social Energético.



estos lineamientos es el desarrollo de una norma que regulará el desempeño de las cocinas en términos de eficiencia, emisiones y seguridad, y que acaba de superar la etapa de consulta pública⁷ (MinMinas, 2016). Sin embargo, todavía no existen laboratorios con capacidad técnica para obligar el cumplimiento de la norma.

Además, se elaboró la estrategia de apoyo sectorial al tema de cocción, que forma parte del Plan de Acción Indicativo 2017-2022 del PROURE en el año 2016. Dicho documento define acciones estratégicas y sectoriales del país, como también metas de eficiencia energética para alcanzar los compromisos internacionales adquiridos durante la COP21 de París, donde se recomienda la implementación de cocinas mejoradas de leña y uso de GLP.

Con respecto al financiamiento, la mayoría de los programas de difusión de cocinas mejoradas en Colombia han funcionado bajo un modelo de subsidio

parcial o total en el marco de programas sociales, los cuales han sido impulsados por entidades territoriales de diferentes niveles. Asimismo, en un estudio que realizó la Global Alliance for Clean Cookstoves (2012b) se concluyó que no existe mercado de cocinas mejoradas porque se considera que un hogar pobre no podría pagar el precio de una cocina.

Entre las instituciones que vienen trabajando en Colombia, se encuentran Patrimonio Natural y Fundación Natura, quienes en el año 2014 proyectaron una instalación de 3.844 cocinas mejoradas para los siguientes años con mecanismos de financiamiento parcial por parte de los usuarios (MADS, 2014). Una de las experiencias puntuales con las que cuenta Colombia para distribuir cocinas mejoradas bajo un enfoque de mercado es la microfinanciera Contactar, en Nariño, donde se está implementando “Crédito con tu planeta”, un mecanismo de financiamiento otorgado a los microempresarios y productores rurales para la compra o adecuación de tecnologías apropiadas para mitigar los riesgos climáticos y a la preservación de cultivos, animales y la salud (Contactar, 2018). Por medio de este crédito los clientes pueden acceder a cocinas mejoradas y biodigestores.

También, es importante mencionar que actualmente existe un programa de subsidio para el uso del GLP en el sector rural. Aunque muchos expertos consideran que el precio del gas es una limitante a esta alternativa, sin tomar en cuenta los problemas de transporte y abastecimiento de GLP a zonas alejadas (UPME, 2017).

En cuanto a los hábitos culinarios de los colombianos, está el preparar y consumir una gran variedad de preparaciones, utilizando diferentes métodos, y considerando a la comida como la pieza central de interacción social. Además, la diversidad étnica (83 grupos étnicos) es un factor que se refleja en las diversas preparaciones, las cuales llevan una considerable cantidad de aceite y mediante diferentes procedimientos. En líneas generales, un plato tradicional en Colombia está compuesto por dos porciones de carbohidratos, una porción de proteína animal (carnes), una porción de cereales/legumbres, y una porción de verduras. A esto se le suma una porción de sopa y una bebida, la cual puede ser café o agua de panela. Por lo explicado anteriormente, las cocinas deben tener varios

⁷ En dicha norma, se acepta una eficiencia mínima de 20% en pruebas en laboratorio, con lo cual se espera reducir en 50% el consumo de leña.

quemadores para poder preparar las elaboradas preparaciones colombianas (GACC, 2012b).

Con respecto a la actividad de cocinar, esta es llevada a cabo generalmente, por las mujeres y niños (97%). Por otro lado, en las zonas rurales la cocina tiene más de una función; es el lugar donde duermen

y comen. Finalmente, es importante mencionar que, para los colombianos, utilizar leña y carbón influye en el sabor que su comida tendrá. Por ello, algunas veces las personas son exigentes con la especie de la madera a utilizar como leña (ídem).

2.3 México

Según estimaciones, la población que usa leña en México es de entre 22 y 25 millones de personas (Maserá et al., 2005). Además, el consumo de leña es mayor en la zona rural, donde el 89% la utiliza como fuente principal para la cocción de alimentos (Díaz-Jiménez, 2000).

En este país, es el sector público el principal actor de una estrategia masiva de distribución de cocinas mejoradas. Se estima que, en todo México, en los últimos diez años se instalaron 900.000 cocinas mejoradas, la mayoría mediante licitaciones públicas. Sin embargo, no se conoce el número exacto, ni se cuenta con bases de datos de la cantidad de tecnologías instaladas, ni tampoco los modelos y los estados donde están instaladas (Berrueta, 2017). Al mismo tiempo, no existe una estrategia de apoyo sectorial, sino que están incluidas en programas de diferente índole (programas ejecutados por SEDATU y SEDESOL). Por otra parte, hasta el momento, la implementación de cocinas mejoradas no estaba incluida en la Contribución Nacional Determinada, la cual agrega las estrategias de reducción de emisiones en el marco del Acuerdo de París. Desde sector privado, es destacable la iniciativa de Red Patsari, que busca implementar cocinas Patsari a nivel nacional capacitando a operadores locales. Con respecto al financiamiento, la gran mayoría de proyectos en México se han operado bajo un esquema de subsidio total o parcial tanto provenientes del sector privado, la sociedad civil y del Estado.

En resumen, ha habido esfuerzos a nivel nacional pero no se cuenta con una estrategia nacional concertada entre actores del sector público y del sector privado. Asimismo, la sostenibilidad es un desafío para los programas que se están llevando a cabo, ya que en su mayoría no incluyen el monitoreo⁸.

En referencia a las normas y estándares para cocinas, no existe una certificación oficial o una institución oficial que certifique las cocinas mejoradas en México, así como tampoco normas nacionales para realizar la certificación. Sin embargo, en noviembre del 2015, se formalizó el Comité Nacional de Normalización para Estufas de Leña, en el cual participan diferentes actores de la sociedad civil y el sector público. Hoy en día, ya se cuenta con un anteproyecto de la Norma Mexicana, el cual está avanzado en un 85% e incluye: evaluación de eficiencia, emisiones intradomiciliarias (incluye CN), seguridad, durabilidad, funcionalidad y adaptabilidad a prácticas de cocinado. No obstante, más allá de la validación de la norma, queda por definirse cuál será la autoridad certificadora para asegurar una implementación adecuada. A la fecha, México cuenta con pocos laboratorios que cumplan con los lineamientos y protocolos internacionales, siendo el que se encuentra en la Universidad Nacional Autónoma (UNAM), campus Morelia, el más avanzado.

Por otro lado, la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) dejó de trabajar programas de distribución de cocinas mejoradas desde la creación de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). En la actualidad, se encuentra implementando una estrategia para la atención de familias carentes de combustible mediante una propuesta público-privada para ampliar el acceso al GLP. Este programa está en la actualidad en la etapa de proyectos pilotos y espera beneficiar a 13.400 hogares. Para ejecutar esta estrategia, SEDESOL se ha puesto en contacto con empresas de la industria del gas y con Distribuidora e Impulsadora Comercial Conasupo (DICONSA), quien opera el Programa de Abasto Rural mediante tiendas afiliadas a este programa. DICONSA expende GLP en cilindros

⁸ A excepción del programa Utsil Naj (implementado por Microsol), que permite la certificación carbono de proyectos de cocinas mejoradas.

de 10 kg a familias beneficiadas por el programa PROSPERA⁹ que aún cocinan con leña o carbón. Para ello, los beneficiados deben vivir a una distancia no mayor de 2,5 km de una tienda DICONSA y deben percibir transferencias monetarias de \$1.000 a \$3.000 MXN para garantizar la compra del cilindro. Además, en el marco de este programa, cada familia recibe una estufa a GLP subvencionada. El modelo descrito, abre un nuevo mercado para proveedores, que se basa en la comisión que cobra cada tienda DICONSA que pertenece a este programa.

En cuanto a los hábitos de cocción, la comida mexicana varía según la región, y está influenciada por el clima local, geografía y diferencias étnicas. El alimento básico es la tortilla, el cual tiene variaciones en los ingredientes, tamaño y método de cocción. Dicha tortilla se acompaña con tamales, frijoles y guisos; los cuales son cocinados lentamente. Para la preparación de la tortilla se requiere de los “comales”, mientras que el frijol requiere de grandes ollas; ambos se cocinan al mismo tiempo y necesitan una gran cantidad de leña. Muchas veces, las tortillas son preparadas y luego calentadas a la hora de comer (GACC, 2012c).



⁹ El programa PROSPERA se encarga de potenciar las capacidades de las personas en situación de pobreza a través de acciones que amplíen sus capacidades en alimentación, salud y educación, y mejoren su acceso a otras dimensiones del bienestar. En este marco, son los beneficiarios de este programa los que por medio de SENER y SEDESOL han recibido estufas a gas para luchar para la sustitución de leña y carbón en comunidades vulnerables (SEDESOL, 2018).



3. Metodología

3.1 Desarrollo del estudio

El presente estudio busca obtener la respuesta a ciertas preguntas sobre emisiones de CCVC y los costos relacionados con la adopción de diferentes tecnologías para cocción en la zona rural, según tres escenarios de mitigación. Para ello, se realizaron cálculos con datos de tres países latinoamericanos muestra: Perú, Colombia y México, y de esta forma poder conocer la relación entre la emisión de CCVC y la cocción rural en la región. Las preguntas son las siguientes:

- ☞ Con respecto a las emisiones, ¿cómo afecta el uso de diferentes tecnologías de cocción a la emisión de CCVC? ¿La relación entre las emisiones de CCVC y las tecnologías difiere según los países de la región? (ver sección 4).
- ☞ Con relación a los costos totales, ¿cómo varía el costo de adopción de cada escenario

planteado? ¿Cómo se diferencian estos costos en cada país? (ver sección 5).

- ☞ ¿Qué escenario permite una mayor reducción al menor costo? (ver sección 6).

3.2 Alcance del estudio

3.2.1 Cocción rural

El presente estudio se enfocó en las zonas rurales pobres de los tres países en estudio. Esta perspectiva ha sido seleccionada ya que, la cocción rural, por la combustión mayoritaria de biomasa, es una fuente significativa de emisiones de CCVC que justifica ser priorizada en las políticas climáticas. Por ello, el estudio propone estimar, en cada país, las emisiones de CCVC originadas por la cocción en zonas rurales pobres, y evaluar el impacto de la aplicación de tres escenarios de mitigación durante el período 2018-2030.

3.2.2 Tecnologías y combustibles

Para la selección de tecnologías se asumió que la población rural evaluada en el estudio no tiene acceso a electricidad ni a gas natural. De esta manera, las tecnologías y combustibles del modelo son las que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Tecnologías y combustibles a considerar en el estudio

N°	Tecnología	Combustible
1	Fogón abierto	Leña
2	Cocina mejorada	Leña
3	Cocina a gas ¹⁰	GLP

Fuente: Elaboración propia

Se consideró que las familias utilizan solo fogones abiertos (tres piedras o tipo “U”) para cocinar en el escenario de referencia. Mientras que en los tres escenarios de mitigación se implementan, adoptan y usan cocinas mejoradas y/o cocinas a gas en diferentes proporciones. Es necesario acotar que las cocinas mejoradas contempladas corresponden a modelos in situ, ya que son las que han tenido mayor difusión y promoción en Perú¹¹ y Colombia¹². En el caso de México se implementaron masivamente cocinas prefabricadas, pero se eligió trabajar con los modelos que fueron instalados en el marco del programa Utsil Naj¹³, ya que son las únicas que han sido monitoreadas y para los cuales se tienen datos de desempeño a gran escala.

3.2.3 Contaminantes Climáticos de Vida Corta

Entre los principales CCVC se encuentran el carbono negro (CN), metano (CH₄) y ozono troposférico (O₃), y algunos hidrofluorocarbonos (HFC).



El CN son las pequeñas partículas negras (hollín) producto de la combustión incompleta de los combustibles fósiles y la biomasa. Este contaminante en suspensión contribuye al calentamiento global absorbiendo la radiación y convirtiéndola en calor, acelera el derretimiento de los glaciares, disminuye la luz que llega al suelo y hojas de las plantas, y hasta modifica los patrones de lluvia. Además, el CN es el principal componente del material particulado 2,5, siendo este último causante de problemas a la salud y muertes prematuras a nivel mundial (CCAL, 2014). Por lo expuesto, y considerando que el presente estudio está enfocado a zonas rurales pobres donde uno de los principales energéticos para cocinar es la leña, se decidió evaluar las emisiones de CN.

Con respecto al O₃, se sabe que es perjudicial para la salud humana y los ecosistemas al reducir

¹⁰ Cocina a gas sin horno.

¹¹ En Perú, la implementación de cocinas mejoradas se ha dado gracias a programas que han preferido las cocinas fijas, tal como lo muestra el mapa resumen de cocinas mejoradas del Grupo Temático Energía, disponible en la página web del FONCODES. Además, según la lista de cocinas certificadas de SENCICO, los primeros modelos de cocinas portátiles certificados aparecieron en el año 2014, fue recién al año siguiente, a través del Fondo de Innovación y Desarrollo de Cocinas Portátiles (FIDECOP) que se comenzó a fomentar la fabricación de cocinas portátiles a leña.

¹² Para el caso de Colombia, el modelo de cocina mejorada que ha tenido mayor alcance en implementación es el modelo Huellas, el cual es un modelo in situ.

¹³ En el programa Utsil Naj la gran mayoría de cocinas son in situ, sólo los modelos Onil y Ecocina son pre-fabricados.

la habilidad de las plantas de absorber dióxido de carbono, dañar las funciones y estructura de los ecosistemas, y disminuir la productividad de los cultivos (PNUMA, 2016). Por ello, este contaminante es considerado como un gas de efecto invernadero y un CCVC. Sin embargo, el ozono troposférico se forma por reacciones fotoquímicas en la atmósfera, es un contaminante secundario, y no se puede medir directamente, sino que se evalúa a través de sus precursores: el metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes al Metano (COVNM) (Molina Center, 2013). De estos precursores, se evidenció que los más importantes en la combustión de biomasa son el CO y COVNM. Por ello, se decidió agregarlos a la lista de los contaminantes para el

presente estudio.

Con respecto al CH₄ e HFC, no se evaluarán porque la cocción residencial no es una fuente importante de emisiones para ambos contaminantes. Según un estudio realizado para Latinoamérica y el Caribe (PNUMA, 2016), los sectores que originan mayor cantidad de emisiones de metano son agricultura; producción y distribución de carbón, aceite y gas; y manejo de residuos (el sector residencial tiene una muy baja representatividad). Mientras que, para HFC, los principales causantes de las emisiones son el aire acondicionado móvil y la refrigeración en el sector comercial.

En resumen, los contaminantes a evaluar en el presente estudio son CN, CO y COVNM.

3.3 Variables consideradas

3.3.1 Consumo de combustibles

Para cada combustible se recolectaron datos de consumo unitario, es decir la cantidad consumida por vivienda durante un periodo de tiempo.



Leña

Se consideró que las pruebas de campo “Kitchen Performance Tests” (KPT), desarrolladas meticulosamente, son la mejor herramienta para entender el impacto que genera el uso de las cocinas mejoradas a nivel domiciliario, con respecto al uso de combustibles. Esto último, debido a que esta prueba se desarrolla al interior de la vivienda y toma en cuenta los hábitos de consumo y uso de combustible de cada familia.

En el caso de Perú y México, se utilizaron los últimos resultados correspondientes a la línea de base (uso de fogón abierto) y el escenario de proyecto (utilización de una cocina mejorada) disponibles en el marco de los programas Qori Q'oncha y Utsil Naj¹⁴, programas de certificación carbono de cocinas mejoradas a leña en Perú y México, respectivamente. Los resultados se calcularon mediante pruebas KPT realizadas en muestras aleatorias de familias quienes siguen utilizando fogones abiertos y otras

quienes se beneficiaron con la implementación de una cocina mejorada.

Para el consumo y ahorro de leña en Colombia nos basamos en investigaciones realizadas en campo para dos modelos de cocinas:

-  Modelo Huellas: se consideraron los datos de consumo de leña (per cápita) y ahorro (%) generados por Fundación Natura (2015), quienes trabajaron en un proceso de certificación de bonos de carbono por la implementación de proyectos de CM.
-  Modelo de Fundación Natura¹⁵: se utilizó la información de consumo de leña (per cápita) y ahorro de leña (%) presentada en la investigación de Aristizábal (2014), la cual es parte del marco del proyecto “Mecanismo para la mitigación voluntaria de emisiones de carbono en Colombia”, de donde se extrajeron los datos obtenidos por la prueba KPT.

Después, para poder llevar los datos per cápita de ambos modelos a vivienda, se buscó la cantidad de habitantes en una vivienda en la zona rural de Colombia (DANE, 2014). Finalmente, se realizó un promedio ponderado de los datos de consumo y

¹⁴ Programas de certificación carbono desarrollados por Microsol evaluando una variedad de proyectos de cocinas mejoradas implementados por organizaciones locales tal como ONG, asociaciones, empresas, instituciones públicas. Cada programa ha sido registrado por la Fundación Gold Standard y los resultados correspondientes certificados por esta.

¹⁵ Modelo de estufa diseñada por Fundación Natura y basada en la estufa ICA-1791.

ahorro de leña con la cantidad de cocinas instaladas de cada modelo. Para estimar la cantidad de cocinas por modelo, se utilizó la información brindada por los siguientes estudios:

- ☉ Lineamientos para un Programa Nacional de Estufas Eficientes (MADS, 2015)
- ☉ Resultados de la Encuesta Nacional de Estufas Eficientes (MADS, 2014)

☉ GLP

Se utilizaron los datos de consumo nacional para los tres países. Si bien es cierto, el enfoque del estudio es para zonas rurales, se decidió utilizar el dato nacional para no subestimar el consumo, ya que, si se usaran los datos disponibles de consumo en zonas rurales, estos podrían incluir el uso combinado de varios combustibles, subestimando el valor del GLP.

A continuación, se brindan detalles de las fuentes de información utilizadas:

- ☉ Perú: Informe de Resultados de la Encuesta Residencial de Consumo y Uso de Energía - ERCUE 2014-2015 (OSINERGMIN, 2015), donde se tomó en cuenta el consumo de balones de 10 kilogramos.
- ☉ Colombia: folleto “La comunidad del cilindro” (MinMinas, s.f.), donde se consideró el consumo familiar mensual.
- ☉ México: se utilizó el dato de consumo por persona a nivel nacional de “Prospectiva del Mercado de Gas Licuado de Petróleo 2012-2026”, y se multiplicó por el promedio de habitantes por vivienda¹⁶.

3.3.2 Factores de emisión de CCVC

Perú y Colombia no cuentan con factores de emisión para CCVC oficiales. Por ello, para ambos países se utilizó la base de datos con la que se trabajó para el inventario de emisiones de Perú¹⁷. Entre los datos

que se aplicaron fueron considerados los valores del catálogo de GACC y otros estudios.

En cambio, para los cálculos correspondientes a la combustión de biomasa en México se tomaron en cuenta los factores de emisión utilizados en el siguiente documento: “Escenarios de mitigación de gases efecto invernadero, carbono negro y otros forzadores climáticos de vida corta, mediante el uso de biocombustibles sólidos”, elaborado por el Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada (GIRA) en el año 2012, para los factores de emisión de CN. Es importante mencionar que estos datos han sido posteriormente utilizados en el informe final del “Apoyo a la Iniciativa de Planificación Nacional sobre CCVC en México” (SNAP, por sus siglas en inglés) en el año 2013, y están siendo aplicados para la actualización del inventario de emisiones¹⁸, a publicarse en el año 2018. Para los factores de emisión de CO y COVNM se utilizaron los factores de emisión utilizados en el SNAP del 2013. Además, es necesario mencionar que, para el caso de los factores de emisión correspondientes a COVNM con fogón tradicional y cocinas mejoradas, se utilizó la relación de contenido de carbono (%)¹⁹ para realizar la conversión correspondiente. Por último, para los cálculos referentes al uso de GLP, no se dispone para México de factores de emisión oficiales, por ello se aplicó los valores utilizados en Perú y Colombia.

3.3.3 Costos de las tecnologías²⁰

Los tipos de costos a considerar para las tecnologías a evaluar son dos: (i) costo total de implementación, y (ii) costo de mantenimiento. El primer paso fue determinar un rango de costos por cada tipo de costo y cada tipo de tecnología. Y luego, para realizar los cálculos, se trabajó con el valor promedio de cada rango obtenido.

**Costo de tecnología = costo total
de implementación + costo
de mantenimiento**

¹⁶ Promedio de habitantes por vivienda según INEGI: 3,7 (DISPONIBLE AQUÍ)

¹⁷ La base de datos fue brindada por CCAL-Perú y fue utilizada para realizar los cálculos del Inventario Nacional para el Ministerio del Ambiente, pero el documento no se publica aún por lo que no se menciona el título.

¹⁸ Consulta a miembros del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, que se encuentran en revisión y actualización de los datos para cálculos de SNAP.

¹⁹ Los factores de emisión de COVNM con fogón tradicional y cocina mejorada de México se presentan en gramos de C/kg de combustible. Sin embargo, para los cálculos utilizamos factores de emisión en gramos del contaminante/kg de combustible. Se utilizó el % de carbono en el contaminante que se presenta en el documento: “Climate Change 2001: The Scientific Basis” (2001) de IPCC.

²⁰ Para todos los cálculos, se utilizó una tasa de cambio promedio anual con frecuencia diaria, correspondiente al año 2017 según la página web OANDA: Perú: 1 USD=3,22 PEN, Colombia: 1 USD= 2.941,86 COL, México: 1 USD=18,90 MXN.

a) Costo de implementación

☉ Cocinas mejoradas

De forma general el costo de implementación considera los costos de materiales y los costos de instalación de cada cocina en los hogares (transporte, capacitación, entre otros).

**Costo de materiales + costo de
instalación = costo total
de implementación**

Para las CM se incluyen los costos de materiales, transporte de materiales, mano de obra, y actividades de sensibilización y capacitación. En Perú y México se trabajó con los datos recolectados en los programas Qori Q'oncha y Utsil Naj, respectivamente. En Colombia se trabajó con la lista de precios que se muestran en el documento "Lineamientos para un programa nacional de estufas eficientes" (MADS, 2015), donde se detallan los modelos utilizados en dicho país y los costos por región (Encuesta Nacional de Estufas Mejoradas, 2014).

☉ Cocinas a GLP

Para las cocinas a GLP se incluyó el costo de producción de las cocinas, el costo del cilindro de GLP y el costo de promoción de la tecnología.

Se realizó una búsqueda de información para obtener el costo de adquisición de una cocina a GLP y del cilindro correspondiente en cada país. Además, se aplicó un porcentaje para considerar un costo anual de promoción para el uso de las cocinas a GLP²¹.

Es importante mencionar que para los tres países solo se consideraron modelos de cocinas a gas sin horno y con dos quemadores, porque los modelos de las cocinas a gas que se usan en zonas rurales tienen estas características.

Las fuentes utilizadas para cada país fueron las siguientes:

- ☉ Perú: se utilizó el precio del modelo brindado por el programa "Cocina Perú"²².

- ☉ Colombia: se buscaron modelos de seis marcas como Haceb, Mabe, Milatti, Sueco, ABBA y Sudelec²³.

- ☉ México: se buscó el modelo de cocina a gas brindado por el programa Prospera y se realizó una búsqueda de precios referenciales²⁴.

b) Costo de mantenimiento

El costo de mantenimiento para cada tecnología varía según el tipo de mantenimiento que se realiza. Para el modelo que se plantea en el presente estudio, se consideró la información que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Tipo de mantenimiento por tipo de tecnología

Tipo de tecnología	Tipo de mantenimiento
Fogón abierto	Ninguno
CM in situ	Reemplazo de piezas
Cocina a GLP	Limpieza y reemplazo de cocina

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las CM, se consideró el costo de reemplazo de todos los materiales de los modelos de CM contemplados para Perú y México según la duración de vida de cada material. Se anualizó el costo de mantenimiento para asegurar la sostenibilidad de las cocinas a lo largo del tiempo. En ausencia de información, en el caso de Colombia se consideró el promedio de los porcentajes que representan los costos de mantenimiento con respecto al costo total de implementación de cada CM en los otros dos países.

En cambio, para determinar el costo de mantenimiento de las cocinas a GLP en los tres países, se tomó un valor anual de 10% con respecto al costo de

²¹ Se consideró 6,67% del costo de implementación, este valor se extrajo de la relación de los costos considerados en el estudio de Larsen (2016).

²² Precio promedio de distintos comercializadores retail disponibles en Perú para modelos similares a la cocina ANAFE distribuida por FISE.

²³ Se utilizó el valor promedio del rango de precios retail disponibles en dos páginas web: Mercado Libre (ingresado el 1 de febrero del 2018) y Haceb (ingresado el 1 de febrero del 2018).

²⁴ Se utilizó el valor promedio del rango de precios retail disponibles en la página web de Mercado Libre (ingresado el 2 de febrero del 2018).

adquisición de las cocinas, porque se consideró un tiempo de vida de 10 años (Larsen, 2016), para lo cual se incluye el reemplazo de las cocinas a gas en el costo de mantenimiento anual.

3.3.4 Costos de los combustibles

Leña

Se trabajó con los datos de los programas Qori Q'oncha y Utsil Naj para determinar el porcentaje de leña recolectada y comprada en Perú y México²⁵. Para Colombia, se realizó una búsqueda en literatura pertinente. En resumen, lo encontrado fue lo siguiente:

- ☉ Perú: el 89,60% recolecta leña y el 10,40% la compra (programa Qori Q'oncha).
- ☉ México: el 71,39% recolecta leña y el 28,61% la compra (programa Utsil Naj).
- ☉ Colombia: el 11,80% compra leña (Valderrama y Linares, 2008)²⁶.

Tal como se aprecia, los porcentajes de la leña recolectada son mayores en los tres países. Al querer valorizarla, se vio que los diferentes métodos dan un valor al ahorro en tiempo y dinero que la disminución en la recolección de este combustible representa, mas no se otorga un real valor al combustible en sí²⁷, y esto no es lo que se busca en el caso de este estudio. Por ello, se decidió utilizar los porcentajes de la leña comprada junto con los precios de este combustible en cada país para darle un valor a la leña comprada y no a los beneficios que conlleva la no recolección.

Los precios de la leña en cada país son referenciales, y, por lo tanto, tienen una alta variabilidad según la localidad. Las fuentes de información para el precio de leña en cada país son las siguientes:

- ☉ Perú: consulta directa a desarrollador del proyecto de CM del programa Qori Q'oncha, en la región Sierra.
- ☉ Colombia: consulta directa a proveedor de cocinas en Neiva.
- ☉ México: consulta directa a desarrolladores de proyectos de CM del programa Utsil Naj, en Michoacán y estado de México.

GLP

Se consideraron los precios máximos disponibles para los usuarios, ya que nos enfocamos en zonas rurales donde el costo de transporte es mayor. Cabe mencionar que no se tomó en cuenta ningún tipo de subsidio al precio del GLP, porque el objetivo de este estudio es mostrar los resultados de una simulación con costos reales.

A continuación se especifican, para cada país, las consideraciones que se tuvieron para obtener el valor a utilizar en los cálculos:

- ☉ Perú: precio promedio del balón de gas doméstico de 10 kg. Datos extraídos del portal de OSINERGMIN²⁸ y para el precio del gas licuado de petróleo en locales de venta se consideraron localidades donde el programa Qori Q'oncha participa.
- ☉ Colombia: precio de cilindros de 33 libras. Datos extraídos de la lista de precios de la empresa Vida Gas²⁹, se consideraron las localidades del departamento de Antioquia³⁰.
- ☉ México: precio promedio por kilogramo. Datos extraídos de portal de la CRE³¹ para precios vigentes de GLP mediante planta de distribución, se consideraron localidades donde el programa Utsil Naj participa.

²⁵ Para Perú y México, en los cálculos se asumió que en familias que compran y recolectan leña (realizan ambas actividades), se puede aplicar el 50% a cada actividad.

²⁶ Valderrama y Linares (2008) realizaron un estudio en comunidades campesinas de los Andes de Colombia donde encuestaron a 98 hogares de Inspección de Policía de San José de Suaita.

²⁷ Si se tuvieran casos de una línea base de plantaciones con fines leñeros, con los costos o inversión inicial se podría usar ese dato.

²⁸ Disponible en página web: [DISPONIBLE AQUÍ](#) (ingresado el 26 de febrero del 2018).

²⁹ Disponible en página web (para precios minoristas): [DISPONIBLE AQUÍ](#) (ingresado el 19 de febrero del 2018).

³⁰ Según estimaciones y proyecciones de población 2005-2020 (DANE, 2011), el departamento que posee mayor población rural con respecto a la población total es Antioquia.

³¹ Disponible en página web: [DISPONIBLE AQUÍ](#) (ingresado el 20 de marzo del 2018).

3.4 Definición de los escenarios del estudio

3.4.1 Escenario de referencia

Se definió una población muestra de 100.000 viviendas rurales en cada país para el año de referencia (2018). En este escenario, se asume que el 100% de la población utiliza fogón abierto para la cocción de sus alimentos durante el período de evaluación (2018-2030).

3.4.2 Escenarios de mitigación

Se definieron tres escenarios de mitigación donde se implementarán CM y/o cocinas a GLP, las cuales corresponden a las principales opciones en las políticas para la sustitución de fogones abiertos en la cocción de alimentos. Se contempló una implementación anual progresiva de las tecnologías hasta equipar a toda la población estudiada en 2030.

Para cada escenario se establecieron los siguientes parámetros:

- ☉ Tasa de adopción: proporción en la cual la tecnología es adoptada por la familia, lo que implica el abandono parcial o total de la tecnología de línea de base.
- ☉ Tasa de uso: proporción en la cual una tecnología es utilizada para cumplir con las necesidades de cocción de la vivienda.

Estos dos parámetros son críticos al momento de contemplar de manera realista la implementación masiva de nuevas tecnologías, tomando en cuenta las numerosas barreras que pueden limitar la adopción de una nueva tecnología y el uso común de múltiples combustibles, lo cual influye en el impacto de la cocina mejorada ya adoptada.

Escenario 1. Política de apoyo a cocinas a GLP

En este escenario se considera la instalación progresiva de cocinas a GLP hasta cubrir por completo a toda la población. Los supuestos para el escenario 1 se muestran en la tabla 3.

Aunque existe muy poca información actualizada sobre el desempeño de los proyectos de implementación de cocinas a GLP en la región, las tasas de adopción y uso del escenario 1 han sido definidas por Microsol en base a algunos documentos de referencia.

Para la tasa de adopción, nos basamos en el dato medido por la Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (UNOPS, por sus siglas en inglés) en su evaluación del programa “Cocina Perú” (UNOPS, 2014). Un año después de la implementación de cocinas a GLP, se observó que el 53% de los usuarios usan la cocina todos los

Tabla 3. Supuestos para el escenario 1

Variable	Valor	Explicación
Tasa de adopción	80%	Del total de cocinas instaladas, el 80% de ellas son adoptadas por la población.
Tasa de uso	30%	En cada vivienda, una cocina a GLP solo cubre el 30% de las necesidades energéticas. Para las restantes siguen usando el fogón abierto.

Fuente: Elaboración propia

días y el 20% solo algunos días por semana. Se puede estimar que el 73% de las familias adoptó la tecnología ya que la utilizan, aunque el 92% de las familias encuestadas continúa utilizando, en paralelo, su cocina tradicional. En este modelo, se considera que se puede lograr una tasa de adopción del 80% de las cocinas a GLP.

En cambio, la situación difiere en cuanto al uso de las cocinas a GLP porque se contempla que en zonas rurales pobres es poco común que el GLP sustituya por completo al uso de la leña; solamente lo disminuye. El patrón más frecuente es que las familias usen múltiples combustibles y tipos de cocinas de forma complementaria. El GLP suele ser utilizado para tareas específicas, tal como hervir agua para el café o té, cocinar una preparación rápidamente y calentar comida ya preparada (Berrueta et al., 2008). El mismo estudio en México midió que el consumo energético per cápita disminuyó en 24% gracias a la implementación de cocinas a GLP, en comparación con la situación inicial (familias usando fogones tradicionales). Entonces, dentro de los supuestos del modelo, se define que una cocina a GLP permite cubrir hasta el 30% de los usos de una familia, por un tema de accesibilidad del combustible, consideraciones económicas y culturales. Para el resto de las necesidades (cocinar preparaciones que necesitan larga cocción, cocinar en grandes cantidades, etc.) se considera que los usuarios siguen utilizando su fogón tradicional.



Escenario 2. Política de apoyo a CM

En este escenario se considera la instalación progresiva de CM hasta cubrir por completo a toda la población. Los supuestos para el escenario 2 se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Supuestos para el escenario 2

Variable	Valor	Explicación
Tasa de adopción	80%	Del total de cocinas instaladas, el 80% de ellas son adoptadas por la población.
Tasa de uso	80%	En cada vivienda, una CM cubre el 80% de las necesidades energéticas. Para las restantes siguen usando fogón abierto.

Fuente: Elaboración propia

En el caso de las CM, se analizó la información recolectada en Perú y México en los programas Qori Q'oncha y Utsil Naj, respectivamente. Los resultados son los siguientes:

- 🕒 **En Perú:** el 100% de las familias encuestadas utilizan su CM varios años después de su instalación y el 94% abandonó su fogón tradicional.
- 🕒 **En México:** el 99% de las familias encuestadas utilizan su CM varios años después de su instalación y el 69% abandonó su fogón tradicional.

De manera prudente, se define para el modelo del presente estudio que solo el 80% de las familias

adoptan la cocina mejorada. En cuanto a la tasa de uso, se considera que la CM puede cubrir el 80% de las necesidades energéticas, dado que se observó un nivel de abandono muy alto de los fogones tradicionales.

Escenario 3. Política mixta (apoyo a cocinas a GLP y CM)

Se considera la implementación progresiva y combinada de cocinas a GLP y CM hasta equipar a todas las familias con ambas tecnologías para el año 2030.

Los supuestos para el escenario 3 se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Supuestos para el escenario 3

Variable		Valor	Explicación
Tasa de adopción para ambas tecnologías		80%	Del total de cocinas a GLP y CM instaladas, el 80% de ellas son usadas.
Tasa de uso N° 1	Para el 50% de usuarios	80% para las CM 20% para GLP	Para el 50% de usuarios, la CM cubre el 80% de sus necesidades energéticas, el 20% restante es cubierto por el uso de cocinas a GLP.
Tasa de uso N° 2	Para el 50% de usuarios	50% para las CM 50% para GLP	Para el 50% de usuarios, la CM cubre el 50% de sus necesidades energéticas, el 50% restante es cubierto por el uso de cocinas a GLP.

Fuente: Elaboración propia

En el escenario mixto se aplica la misma tasa de adopción que en los escenarios 1 y 2, donde la cocina a GLP y la CM son implementadas de manera separada. En cuanto a la tasa de uso, se consideran dos casos, repartidos de manera proporcional (50%-

50%). En cada caso se definieron diferentes tasas de uso para cada tipo de cocina, y de esta manera, poder reflejar la diversidad de situaciones donde los requerimientos energéticos varían en cada vivienda.

3.5 Fórmulas de cálculo

Las fórmulas de cálculo que se muestran a continuación son propias del modelo que Microsol planteó para el análisis.

3.5.1 Emisiones de CCVC

Para determinar las emisiones anuales de cada contaminante en cada escenario se definió la siguiente fórmula:

$$E_{x,z,y} = (N_{z,y} \times A_{z,y} \times U_{z,y} \times P_{z,y} \times FE_x)$$

Donde:

$E_{x,z,y}$: emisiones del contaminante X generadas por la tecnología Z en el año Y

$N_{z,y}$: cantidad de tecnologías Z instaladas en el año Y

$A_{z,y}$: tasa de adopción de la tecnología Z en

el año Y

U_{z,y}: tasa de uso de la tecnología Z en el año Y

P_{z,y}: consumo energético de cada unidad de la tecnología Z en el año Y

FE_x: factor de emisión correspondiente al contaminante X

Se diferenciaron tres tipos de costos:

3.5.2 Costo de implementación

Se refiere al costo total de implementación de las tecnologías. Se determinó con la siguiente fórmula:

$$CI_{z,y} = N_{z,y} \times Ci_z$$

Donde:

CI: costo de implementación de la tecnología Z en el año Y

N_{z,y}: cantidad de tecnologías Z instaladas en el año Y

Ci_z: costo de implementación de cada unidad de la tecnología Z

3.5.3 Costo de mantenimiento

Se refiere al costo en el que incurre cada usuario por el mantenimiento de la tecnología que usa para cocinar sus alimentos. Para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$CM_{z,y} = N_{z,y} \times A_{z,y} \times U_{z,y} \times FM_z \times Cm_z$$

Donde:

CM_{z,y}: costo de mantenimiento de la tecnología Z en el año Y

N_{z,y}: cantidad de tecnologías Z instaladas en el año Y

A_{z,y}: tasa de adopción de la tecnología Z en el año Y

U_{z,y}: tasa de uso de la tecnología Z en el año Y

FM_z: cantidad de veces al año que la tecnología Z requiere mantenimiento

Cm_z: costo unitario de mantenimiento de la tecnología Z

3.5.4 Costo del combustible

Es el costo que el usuario debe pagar por el consumo de combustibles, según la tecnología escogida. La fórmula que se siguió fue la siguiente:

$$CC_{z,y} = N_{z,y} \times A_{z,y} \times U_{z,y} \times P_{z,y} \times Cc_z$$

Donde:

CC_{z,y}: costo de combustible de la tecnología Z en el año Y

N_{z,y}: cantidad de tecnologías Z instaladas en el año Y

A_{z,y}: tasa de adopción de la tecnología Z en el año Y

U_{z,y}: tasa de uso de la tecnología Z en el año Y

P_{z,y}: consumo energético de cada unidad de la tecnología Z en el año Y

Cc_z: costo unitario del combustible usado por la tecnología Z

Es importante mencionar que independientemente de si el costo de implementación recae sobre el Estado (total o parcialmente) y/o las familias, el costo del combustible sumado al costo de mantenimiento, es aquel en el que incurre el usuario cuando la cocina ya fue implementada en su vivienda. Por lo tanto:

$$\text{Costo operación} = \text{costo del combustible} + \text{costo de mantenimiento}$$

Finalmente, para la comparación entre escenarios se calculó el costo total de la implementación de cada política (sumando los tres tipos de costos), y se determinó el costo de reducción de cada tonelada del contaminante considerado. Es importante mencionar que, para el cálculo de este último costo, se le restó al costo total de cada escenario el costo del escenario de referencia (representado por el costo de combustible); para poder realizar la comparación.



4. Análisis de las emisiones de CCVC según escenario de mitigación

4.1 Perú

4.1.1 Insumos

Los datos de consumo energético utilizados para Perú se muestran en la tabla 6. Los factores de emisión aplicados se presentan en la tabla 7.

4.1.2 Comparación de las emisiones de CCVC entre escenarios

Se calcularon las emisiones de cada contaminante durante el período en estudio (2018-2030), así como las reducciones porcentuales de emisiones de cada escenario en comparación al escenario de referencia (tabla 8).

Las emisiones para los tres contaminantes son menores con los supuestos planteados en el escenario 3 (política de apoyo combinado a GLP y CM). Esto se debe a la implementación de ambas tecnologías

Tabla 6. Consumo energético por tecnología en Perú

Tecnología	Combustible	Consumo (kg/año/vivienda)
Fogón abierto	Leña	4.325
Cocina mejorada	Leña	2.347
Cocina a gas	GLP	120

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Factores de emisión para Perú

Tecnología	CN		CO		COVNM	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Fogón abierto con leña	1,10	g/kg	89,1	g/kg	26,10	g/kg
Cocina mejorada con leña	0,74	g/kg	42,0	g/kg	1,87	g/kg
Cocina a GLP	0,01	g/kg	14,9	g/kg	18,80	g/kg

Fuente: Elaboración propia

en una misma vivienda, donde el 80% de las familias abandona por completo el fogón abierto para cubrir sus requerimientos energéticos para cocinar. Tanto así que, según los cálculos, la reducción puede llegar a 42% en el caso de los COVNM.

En segundo lugar, una política de apoyo a CM (escenario 2) permite una reducción considerable para los tres contaminantes, especialmente para los COVNM, donde se llega a una disminución de 33% con respecto al escenario de referencia. Esto se debe a los valores de los factores de

emisión: en el caso de los COVNM, el factor de emisión del GLP es mayor al de las CM (18,8 g/kg en comparación a 1,87 g/kg), sabiendo que la situación es inversa en el caso de los dos otros contaminantes. Sin embargo, el total de las emisiones del escenario con cocinas a GLP no es 10 veces mayor al de la estrategia de implementación de CM, ya que el consumo energético en el caso de cocinas mejoradas es mucho más alto, lo que compensa la diferencia entre los factores de emisiones.

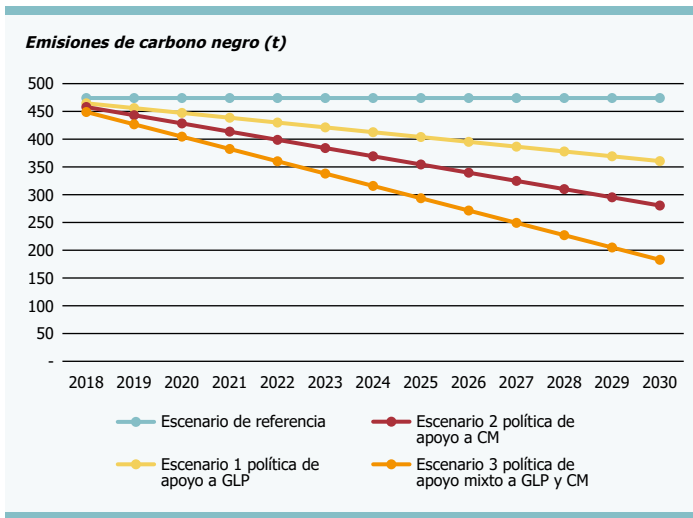
Tabla 8. Emisiones y reducción porcentual por escenario y contaminante en Perú

	Carbono negro (CN)		Monóxido de carbono (CO)		Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes al Metano (COVNM)	
	Emisiones (t)	Reducción	Emisiones (t)	Reducción	Emisiones (t)	Reducción
Escenario 1: apoyo a GLP	5.386	12,92%	436.583	12,86%	128.208	12,64%
Escenario 2: apoyo a CM	4.832	21,88%	372.030	25,74%	98.150	33,12%
Escenario 3: estrategia mixta	4.153	32,85%	321.459	35,84%	85.624	41,66%

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la menor reducción de emisiones se logra al asumir una política de apoyo a GLP (escenario 1), donde solo se obtiene una reducción de aproximadamente 13% para los

Gráfico 1. Emisiones de carbono negro para los diferentes escenarios en Perú



Fuente: Elaboración propia

tres contaminantes. Esto se explica al ver las tasas de uso de ambas tecnologías (cocinas mejoradas y cocinas a gas) en los escenarios 1 y 2: mientras que una CM logra cubrir hasta un 80% de los requerimientos energéticos para cocinar, una cocina a GLP solo cubre hasta el 30%, y el resto lo cubre el fogón tradicional según los supuestos planteados.

Con respecto a la tendencia de dichas emisiones entre los años 2018-2030, los tres contaminantes presentan curvas similares. El gráfico 1 presenta el caso de las emisiones de carbono negro, donde se observa que los tres escenarios de mitigación presentan una reducción constante cada año. Se puede observar la mayor reducción de emisiones de CN, desde el primer año, en el escenario de estrategia mixta (escenario 3) por el mayor reemplazo de fogones tradicionales, seguido por el escenario de apoyo a las CM (escenario 2) con la implementación de una tecnología con mayor tasa de uso; y, por último, el escenario de apoyo al GLP (escenario 1), donde la cocina cubre un menor porcentaje de los requerimientos energéticos para cocinar en cada vivienda.

4.2 Colombia

4.2.1 Insumos

Los datos de consumo energético utilizados para Colombia se muestran en la tabla 9. Los factores de emisión aplicados se presentan en la tabla 10.

4.2.2 Comparación de las emisiones de CCVC entre escenarios

Se calcularon las emisiones de cada contaminante durante el período en estudio (2018-2030), así como las reducciones porcentuales de emisiones de cada escenario en comparación al escenario de referencia (tabla 11).

Tabla 9. Consumo energético por tecnología en Colombia

Tecnología	Combustible	Consumo (kg/año/vivienda)
Fogón abierto	Leña	5.219
Cocina mejorada	Leña	2.958
Cocina a gas	GLP	168

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Factores de emisión para Colombia

Tecnología	CN		CO		COVNM	
	Valor	Unidad	Valor	Unidades	Valor	
Fogón abierto con leña	1,10	g/kg	89,1	g/kg	26,10	g/kg
Cocina mejorada con leña	0,74	g/kg	42,0	g/kg	1,87	g/kg
Cocina a GLP	0,01	g/kg	14,9	g/kg	18,80	g/kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Emisiones y reducción porcentual por escenario y contaminante en Colombia

	Carbono negro (CN)		Monóxido de carbono (CO)		Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes al Metano (COVNM)	
	Emisiones (t)	Reducción	Emisiones (t)	Reducción	Emisiones (t)	Reducción
Escenario 1: apoyo a GLP	6.499	12,92%	526.856	12,85%	154.739	12,62%
Escenario 2: apoyo a CM	5.872	21,32%	451.882	25,25%	118.545	33,06%
Escenario 3: estrategia mixta	5.046	32,40%	389.854	35,51%	103.442	41,59%

Fuente: Elaboración propia

El escenario 3 muestra las menores emisiones debido al mayor reemplazo de fogones tradicionales, al ser implementadas ambas tecnologías, donde el 80% de las familias abandona por completo el fogón abierto para cubrir los requerimientos energéticos para cocinar.

Por otro lado, el escenario 2 (política de apoyo a CM) permite también una reducción considerable de los tres contaminantes. Mientras que la menor reducción de emisiones se logra al asumir una política de apoyo a GLP (escenario 1), donde se obtiene una

disminución de 12-13% aproximadamente. Esto último se debe a la menor tasa de uso del GLP en cada vivienda (30%), motivo por el cual se continúa consumiendo leña de forma poco eficiente (en fogones abiertos).

Con respecto a la tendencia que dichas emisiones siguen entre los años 2018-2030, los tres contaminantes presentan curvas similares, donde se observa una disminución progresiva para los tres escenarios de mitigación, siendo menores las emisiones en el escenario de estrategia mixta desde

el primer año por el mayor reemplazo de fogones tradicionales, seguido por el escenario de apoyo a las CM (escenario 2) con la implementación de una tecnología con mayor tasa de uso; y por último, el escenario de apoyo al GLP (escenario 1), donde la cocina cubre un menor porcentaje de los requerimientos energéticos para cocinar en cada vivienda. El gráfico 2 presenta el caso de las emisiones de carbono negro.

4.3 México

4.3.1 Insumos

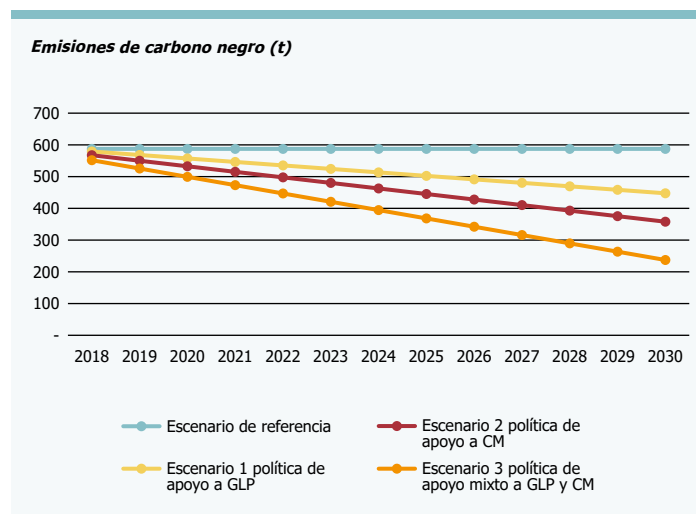
Los datos de consumo energético utilizados para México se muestran en la tabla 12. Los factores de emisión aplicados se presentan en la tabla 13.

4.3.2 Comparación de las emisiones de CCVC entre escenarios

Se calcularon las emisiones de cada contaminante durante el período en estudio (2018-2030), así como las reducciones porcentuales de emisiones de cada escenario en comparación al escenario de referencia (tabla 14).

Las emisiones para los tres contaminantes son menores con los supuestos planteados en el escenario 3 (política de apoyo combinado a GLP y CM), esto se debe a la implementación de ambas tecnologías en una misma vivienda, donde el 80% de las familias abandona por completo el fogón abierto para cubrir los requerimientos energéticos para cocinar.

Gráfico 2. Emisiones de carbono negro para los diferentes escenarios en Colombia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Consumo energético por tecnología en México

Tecnología	Combustible	Consumo (kg/año/vivienda)
Fogón abierto	Leña	4.827
Cocina mejorada	Leña	3.310
Cocina a gas	GLP	241

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Factores de emisión para México

Tecnología	CN		CO		COVNM	
	Valor	Unidad	Valor	Unidades	Valor	
Fogón abierto con leña	0,39	g/kg	70,0	g/kg	26,10	g/kg
Cocina mejorada con leña	0,10	g/kg	27,0	g/kg	1,87	g/kg
Cocina a GLP	0,01	g/kg	14,9	g/kg	18,80	g/kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Emisiones y reducción porcentual por escenario y contaminante en México

	Carbono negro (CN)		Monóxido de carbono (CO)		Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes al Metano (COVNM)	
	Emisiones (t)	Reducción	Emisiones (t)	Reducción	Emisiones (t)	Reducción
Escenario 1: apoyo a GLP	2.131,59	12,91%	383.123,25	12,79%	23.015,35	9,95%
Escenario 2: apoyo a CM	1.752,37	28,40%	327.951,14	25,34%	17.317,32	32,24%
Escenario 3: estrategia mixta	1.514,18	38,13%	283.300,68	35,51%	15.895,43	37,81%

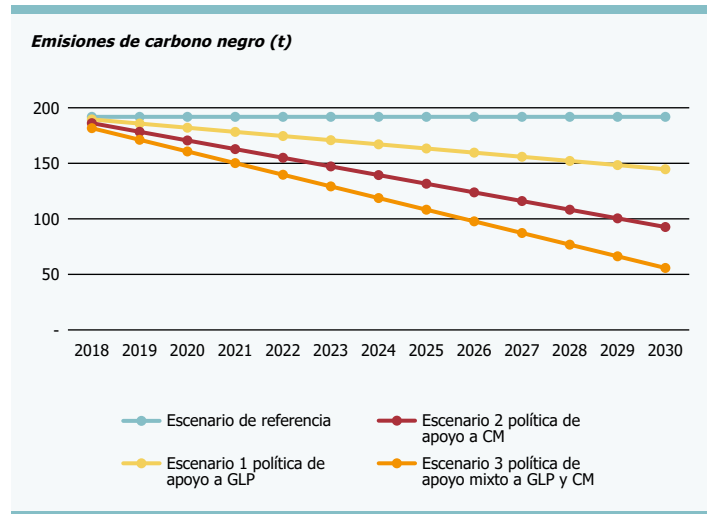
Fuente: Elaboración propia

En segundo lugar, es la política de apoyo a CM (escenario 2) la que permite una reducción considerable para los tres contaminantes. Mientras que es el escenario 1 el que presenta mayores emisiones. La explicación a esto se encuentra en las tasas de uso, porque las CM adoptadas llegan a cubrir hasta el 80% de los requerimientos para cocción, y las cocinas a GLP solo llegan a suplir el 30%, donde el resto es cubierto por el uso de leña en fogones tradicionales.

Un punto interesante en el análisis es que la cocina a GLP tiene los factores de emisión más bajos, excepto en el caso de los COVNM, donde es la cocina mejorada a leña la que presenta los valores más bajos. Con esto, se esperaría que sea el escenario de apoyo al GLP el que presente las reducciones más importantes, pero ocurre totalmente lo contrario, nuevamente, por la tasa de uso; como ya se explicó.

Con respecto a la tendencia que dichas emisiones siguen entre los años 2018-2030, los tres contaminantes presentan curvas similares, donde se observa una disminución progresiva para los tres escenarios de mitigación, manteniéndose el escenario 3 con las emisiones más bajas desde

Gráfico 3. Emisiones de carbono negro para los diferentes escenarios en México



Fuente: Elaboración propia

el primer año. Conforme se va incrementando la implementación de las cocinas anualmente, las emisiones van decreciendo.

4.4 Comparación entre países

Los resultados obtenidos presentan las mismas tendencias en términos de políticas más eficientes para lograr la reducción de CCVC; sin embargo, las cantidades de CCVC emitidos varían. Esto último se

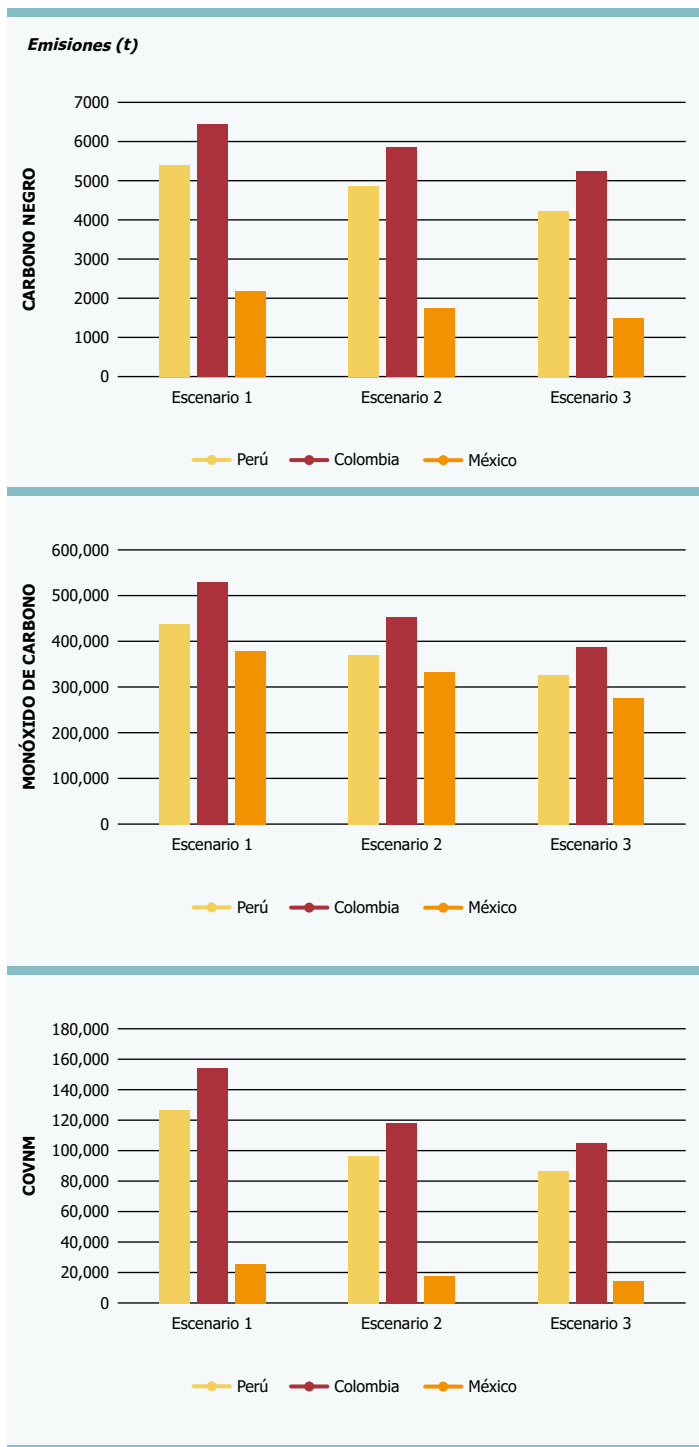
debe a los datos de entrada considerados por país. Por ello, para facilitar la comparación, se muestra un resumen de las variables consideradas por país en la tabla 15.

Tabla 15. Resumen de variables utilizadas para los cálculos en cada país

Variable		Perú	Colombia	México	
Tecnología	Cantidad de cocinas implementadas/año	7.692	7.692	7.692	
Consumo energético	Fogón tradicional con leña (kg/vivienda/año)	4.325	5.219	4.827	
	Cocina mejorada con leña (kg/vivienda/año)	2.347	2.958	3.310	
	Cocina a GLP (kg/vivienda/año)	132	168	241	
Eficiencia energética	Ahorro de leña (%)	45,73	43,33	31,42	
Factor de emisión	CN	Fogón tradicional con leña (g/kg)	1,10	1,10	0,39
		Cocina mejorada con leña (g/kg)	0,74	0,74	0,10
		Cocina a GLP (g/kg)	0,01	0,01	0,01
	CO	Fogón tradicional con leña (g/kg)	89,10	89,10	70,00
		Cocina mejorada con leña (g/kg)	42,00	42,00	27,00
		Cocina a GLP (g/kg)	14,90	14,90	14,90
	COVNM	Fogón tradicional con leña (g/kg)	26,10	26,10	4,07
		Cocina mejorada con leña (g/kg)	1,87	1,87	0,38
		Cocina a GLP (g/kg)	18,80	18,80	18,80

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4. Emisiones totales por contaminante en cada país



Fuente: Elaboración propia

Las emisiones totales por cada escenario en cada país, según los supuestos planteados, se muestran en el gráfico 4 y la tabla 15. Al observarlos, se puede notar que independientemente de cada escenario, Colombia tiene las emisiones más altas debido al mayor consumo energético de leña en fogón tradicional, lo cual es resultado de las particularidades de las comidas que se suelen preparar (con diversos procesos que requieren mayor cantidad de energía para cocinar). Entonces, como el gráfico muestra la suma de emisiones en todo el período de evaluación (2018-2030), las emisiones por fogón toman importancia hasta que la población adopta y usa alguna de las tecnologías (o ambas para el escenario 3).

Por otro lado, las emisiones más bajas para los tres contaminantes corresponden a México, y esto se debe a los factores de emisión para dicho país, los cuales son mucho más bajos que los considerados para los demás países³², excepto para cocinas a GLP. Además, en el caso de COVNM, la diferencia se acentúa a causa, nuevamente, de la mayor diferencia en los factores de emisión utilizados.

Con respecto a las tendencias, se observan los mismos resultados para los tres contaminantes en los tres países en estudio. El escenario 3 (política con estrategia mixta) presenta las emisiones más bajas por el mayor reemplazo del fogón abierto al implementarse ambas tecnologías. Mientras que, el escenario 1 (apoyo a GLP) presenta las emisiones más altas debido a la baja tasa de uso que tiene el GLP en las viviendas (30%). Y, por último, es el escenario 2 el que presenta emisiones intermedias, donde las CM logran reducciones considerables.

³² México era el único país que cuenta con factores de emisión para CCVC oficiales para fogón tradicional y CM.

Tabla 16. Resumen de emisiones totales por contaminante en cada país

Emisiones totales por escenario de mitigación (t)				
Contaminante	País	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
CN	Perú	5.386	4.832	4.153
	Colombia	6.499	5.872	5.046
	México	2.132	1.752	1.514
CO	Perú	436.583	372.030	321.459
	Colombia	526.856	451.882	389.854
	México	383.123	327.951	283.301
COVNM	Perú	128.208	98.150	85.624
	Colombia	154.739	118.545	103.442
	México	23.015	17.318	15.895

Fuente: Elaboración propia



5. Estimación de los costos requeridos para la implementación de cada escenario de mitigación

5.1 Perú

5.1.1 Insumos

El costo de GLP considerado fue de 1,19 US\$/kg y el costo de compra del balón de gas de 10 kg fue de 16,45 US\$, el cual fue considerado dentro del costo de implementación de la cocina a gas.

Los datos utilizados para los cálculos de costos se detallan en la tabla 17.

Tabla 17. Costos de implementación y mantenimiento por tecnología en Perú

Tipo de tecnología	Costo de implementación (US\$)	Costo de mantenimiento anual (US\$)
Fogón abierto	0	0
Cocina mejorada	126	16
Cocina a gas	33	3

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Comparación del costo de implementación entre escenarios

El costo de implementación de las tecnologías está presentado a nivel anual (gráfico 5) ya que es constante en el tiempo. Se asumió, en efecto, una instalación progresiva de las tecnologías durante el periodo 2018-2030, la cual corresponde a 7.692 unidades por año.

Al observar los costos de implementación, se puede apreciar que optar por una política de apoyo combinado (escenario 3) representa el costo más alto, debido a que incluye ambas tecnologías, mientras que el escenario de referencia no presenta ningún costo de implementación para nuestros cálculos.

Por otro lado, los costos de implementación de cocinas mejoradas en el escenario 2 están elevados, esto debido a los materiales de construcción que los modelos in situ requieren en cada caso. Para el caso de Perú, el costo de implementación de un escenario de apoyo a las cocinas mejoradas representa el 79% del costo de adoptar un escenario de estrategia mixta (donde se instalan cocinas mejoradas y cocinas a GLP).

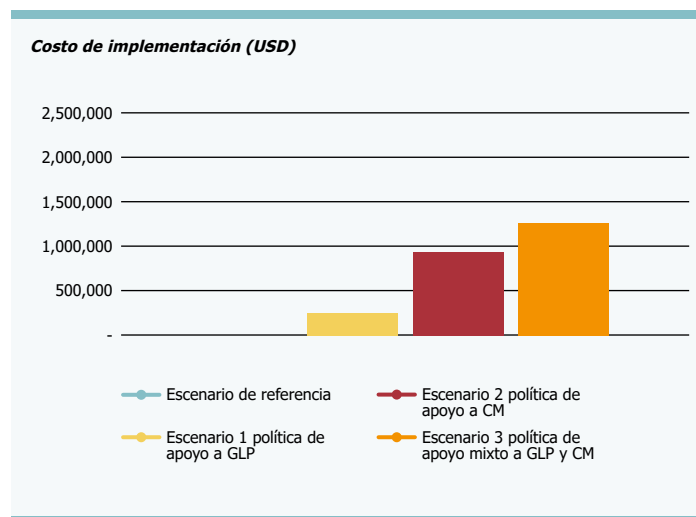
Por último, es el escenario de apoyo a cocinas a GLP presenta el costo de implementación más bajo, el cual representa el 21% del costo del escenario 3 (estrategia mixta).

5.1.3 Comparación del costo de operación entre escenarios

En el gráfico 6 se observa que el escenario donde los usuarios incurren en más gastos es el escenario 1, debido a los gastos por la compra de GLP que representan más de 99% de los gastos de operación para el usuario en el periodo de evaluación. El escenario de apoyo al GLP incluso llega a presentar costos de operación más elevados que el escenario de estrategia mixta donde se implementan dos tecnologías. Esto ocurre porque en esta política el usuario se beneficia de una reducción del consumo de la leña por la instalación de una CM, con un ahorro correspondiente a la proporción de leña que compre. Al analizar el escenario 3 (estrategia mixta), la segunda opción más costosa, se evidencia que el 95% de los gastos se debe a la compra del combustible.

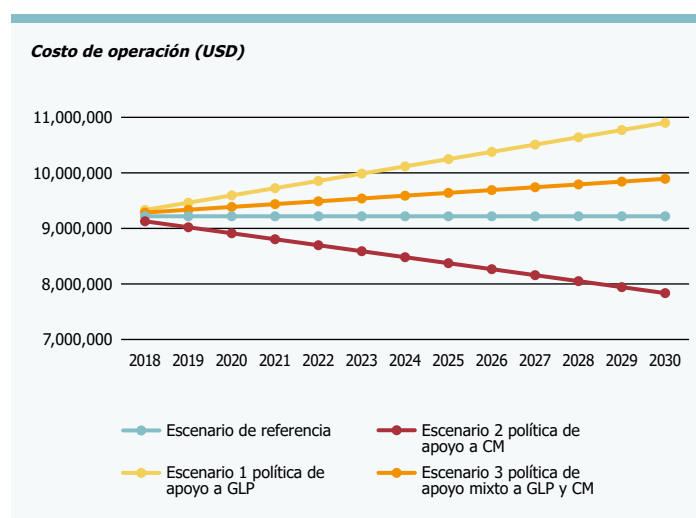
Finalmente, adoptar una política de difusión de CM (escenario 2) sería la mejor opción pues implica una

Gráfico 5. Costo anual de implementación de los diferentes escenarios en Perú



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6. Costo de operación de las tecnologías en los diferentes escenarios en Perú



Fuente: Elaboración propia

reducción significativa del consumo de leña, lo que permite ahorrar en la compra de combustible. Es importante mencionar que este escenario presenta costos de operación menores que los costos del escenario de referencia, llegando a un ahorro de 10% para el usuario durante el periodo del estudio.

5.1.4 Comparación del costo total entre escenarios

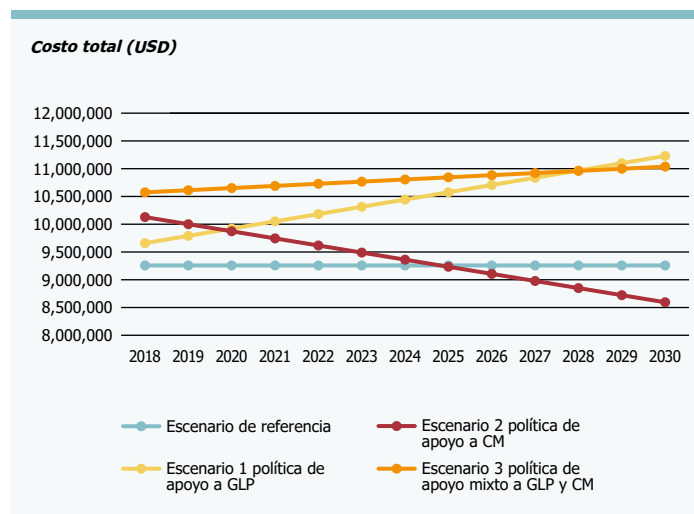
El costo total contempla el costo de implementación y mantenimiento de las tecnologías, y el costo del combustible correspondientes para cada escenario. Los resultados están presentados en el gráfico 7.

Según los supuestos ya establecidos, el costo total para el escenario 3 (política mixta) es el más elevado porque incluye ambas tecnologías. Además, es importante mencionar que al analizar el costo total del escenario 3 se evidenció que el 84% corresponde al costo de combustible.

Si se analizan los resultados durante todo el período en estudio (2018-2030), se puede decir que la opción más económica es optar por una implementación de CM (escenario 2), aunque la diferencia con los dos otros escenarios no es significativa, con +11% en el caso de la implementación de una política de GLP y +15% para la política mixta. El resultado del escenario 2 se explica por la reducción del consumo de leña que permite ahorrar 16% de los costos, en comparación al escenario de referencia. Si bien los costos de implementación y de mantenimiento de las CM son respectivamente 4 y 13 veces mayores a los costos de las cocinas a GLP, el ahorro relacionado con la compra del combustible en el caso de las CM compensa esta situación.

Entre las diferentes políticas, lo que distingue al escenario 1 es la distribución de los costos: solo el 2% de los costos corresponden a la implementación de la tecnología y el 98% a su operación (combustible y mantenimiento). En cambio, en el caso de las estrategias 2 y 3, la implementación de las tecnologías requiere respectivamente el 10% y el

Gráfico 7. Costo total de los diferentes escenarios en Perú



Fuente: Elaboración propia

11% del presupuesto total, y la operación de estas mismas el 89-90% restante.

Se observa que los costos totales de los escenarios 1 (apoyo al GLP) y 3 (estrategia mixta) presentan tendencias ascendentes, mientras que -por el contrario- en el escenario 2 (apoyo a CM) su costo total se reduce de manera lineal. Al ser fijos los costos de implementación cada año, esta diferencia está relacionada con la evolución de los costos de operación de las tecnologías. En cada escenario, el costo de mantenimiento aumenta cada año ya que es directamente determinado por la cantidad de cocinas instaladas. De esta manera, la variable explicativa de la diferencia entre las 3 tendencias corresponde al costo del combustible, el cual aumenta de manera constante en el caso del escenario 1 por la compra adicional del GLP y baja de forma lineal en el caso de los escenarios 2 y 3, aunque en proporción diferente (reducción promedio de 2,7% en el caso de CM y del 0,4% en la política mixta) gracias al ahorro en la compra de leña.

5.2 Colombia

5.2.1 Insumos

El costo de GLP considerado fue de 1,36 US\$/kg y el costo de la garantía del balón de gas de 33 lb³³ fue de 30,59 US\$, el cual fue incluido dentro del costo de implementación de la cocina a gas.

Los datos utilizados para los cálculos de costos se detallan en la tabla 18.

Tabla 18. Costos de implementación y mantenimiento por tecnología en Colombia

Tipo de tecnología	Costo de implementación (US\$)	Costo de mantenimiento anual (US\$)
Fogón abierto	0	0
Cocina mejorada	368	64
Cocina a gas	65	6

Fuente: Elaboración propia

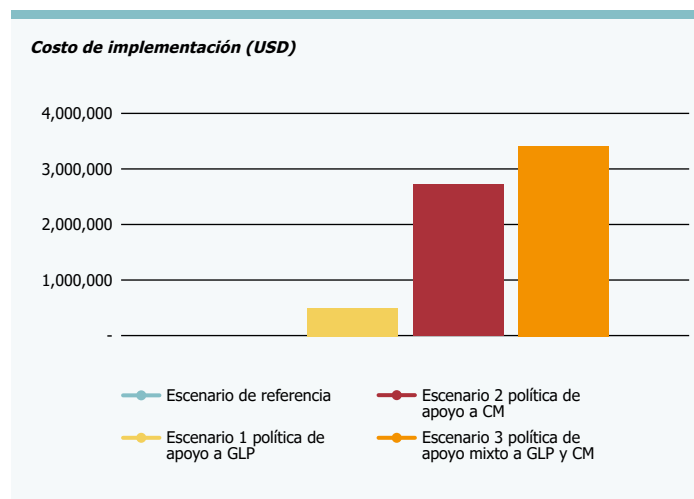
5.2.2 Comparación del costo de implementación entre escenarios

El costo de implementación de las tecnologías está presentado a nivel anual (gráfico 8) ya que es constante en el tiempo. Se asumió en el estudio una instalación progresiva de las tecnologías durante el periodo 2018-2030, lo que corresponde a 7.692 unidades por año.

Al observar el gráfico se aprecia que la implementación de una política de apoyo al GLP (escenario 1) tiene el costo de financiamiento más bajo en comparación con los demás escenarios de mitigación, por el bajo costo de las cocinas a GLP. Los bajos costos para la implementación de cocinas a GLP responden a los modelos que normalmente se utilizan para la promoción de uso del GLP en zonas rurales (de dos quemadores y sin horno, para transportarlas fácilmente).

De esta manera, adoptar una estrategia mixta (escenario 3) representaría un costo de financiamiento mucho mayor (6,7 veces el costo

Gráfico 8. Costo anual de implementación de los diferentes escenarios en Colombia



Fuente: Elaboración propia

de adoptar la estrategia de apoyo al GLP), ya que incluye la implementación de dos tecnologías.

5.2.3 Comparación del costo de operación entre escenarios

En el gráfico 9 se observa que los escenarios 3 (estrategia mixta) y 1 (apoyo al GLP) presentan tendencias muy similares con costos de operación ascendentes de manera lineal durante todo el periodo del estudio. Lo que distingue los dos escenarios es la evolución de cada costo que conforma el costo de operación. Mientras que el costo de mantenimiento aumenta progresivamente en cada escenario, ya que depende directamente del volumen de tecnologías implementadas, el costo del combustible varía de manera opuesta, aumentando cada año en el caso del escenario 1 por la compra del GLP y bajando ligeramente en el caso del escenario 3 donde el costo del GLP está compensado por el ahorro en la compra de leña.

Por último, la política de difusión de CM (escenario 2) aparece como la opción más económica con costos casi idénticos (+0,5%) a los del escenario de referencia. Si bien este escenario implica un costo significativo de mantenimiento de la tecnología,

³³ Tamaño de balón utilizado en zonas rurales (Fundación Natura, 2015). La equivalencia en kilogramos es de 15 kilogramos.

en comparación con los fogones abiertos que no necesitan (en el modelo) ningún gasto para este rubro, este costo está contrarrestado por el ahorro en la compra de leña del cual se benefician las familias cuando se les implementa una cocina mejorada.

5.2.4 Comparación del costo total entre escenarios

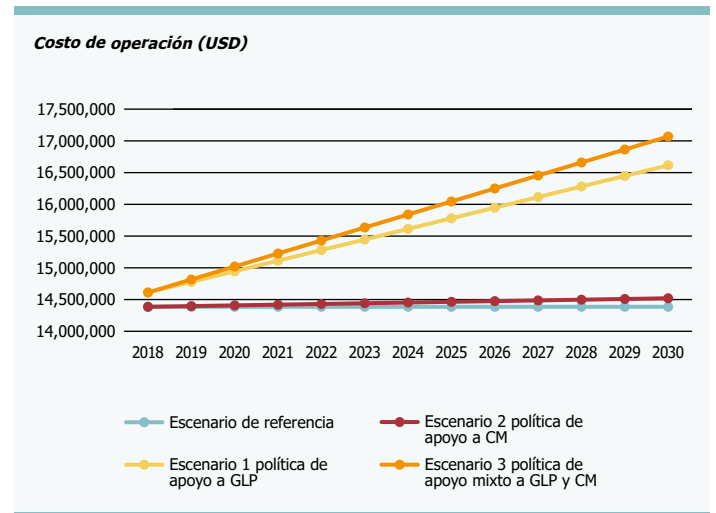
El costo total incluye el costo de implementación y mantenimiento de las tecnologías, y el costo del combustible correspondientes para cada escenario. Los resultados están presentados en el gráfico 10.

Para Colombia, el costo total para el escenario 3 (política mixta) es el más elevado porque incluye ambas tecnologías (donde el 17% del costo total corresponde al costo de implementación de las tecnologías). Esta proporción es similar en el escenario 2, donde la implementación de las CM representa el 16% del costo total, mientras que en el escenario 3 este costo representa solo el 3% del costo total por el bajo costo de las cocinas a GLP, en comparación a las CM.

Por otro lado, se observa que el escenario 2 (apoyo a CM) es la segunda opción más costosa por el alto costo de su tecnología. Sin embargo, el costo total anual se mantiene casi constante a lo largo del tiempo, ya que el costo adicional anual de mantenimiento de las cocinas se compensa por el ahorro creciente gracias a la reducción de la compra de leña.

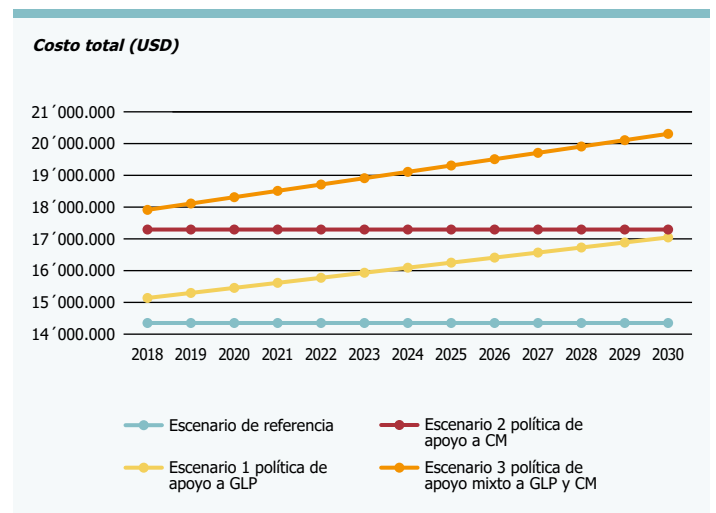
En cambio, el escenario 1 (apoyo al GLP) presenta el menor costo total de las tres estrategias, aunque sigue una tendencia ascendente por el aumento anual de los costos de mantenimiento y de combustible. Así, en el 2030, el costo total de los escenarios 1 (cocinas a GLP) y 2 (CM) casi se equilibran y en los años posteriores el costo total del escenario 1 podría superar el del escenario 2.

Gráfico 9. Costo de operación de las tecnologías en los diferentes escenarios en Colombia



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 10. Costo total de los diferentes escenarios en Colombia



Fuente: Elaboración propia

5.3 México

5.3.1 Insumos

El costo de GLP considerado fue de 1,02 US\$/kg y el costo de compra del balón de gas fue de 60,87 US\$, el cual fue considerado dentro del costo de implementación de la cocina a gas.

Los datos utilizados para los cálculos de costos se detallan en la tabla 19.

Tabla 19. Costos de implementación y mantenimiento por tecnología en México

Tipo de tecnología	Costo de implementación (US\$)	Costo de mantenimiento anual (US\$)
Fogón abierto	0	0
Cocina mejorada	161	23
Cocina a gas	85	8

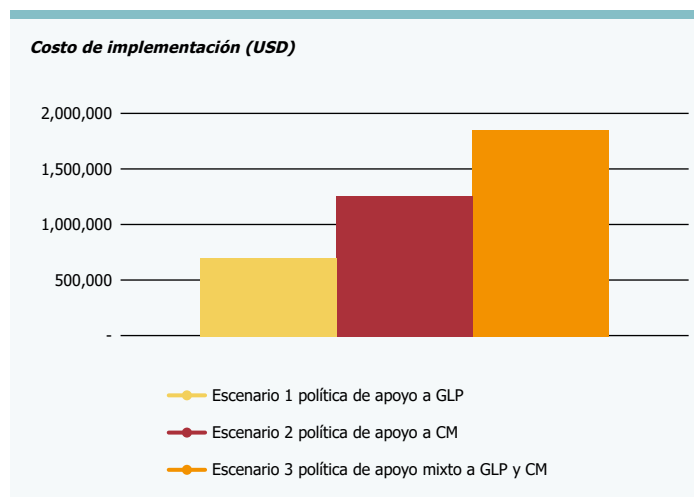
Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Comparación del costo de implementación entre escenarios

El costo de implementación de las tecnologías está presentado a nivel anual (gráfico 11) ya que es constante en el tiempo. Se asumió, en efecto, una instalación progresiva de las tecnologías durante el periodo 2018-2030, lo que corresponde a 7.692 unidades por año.

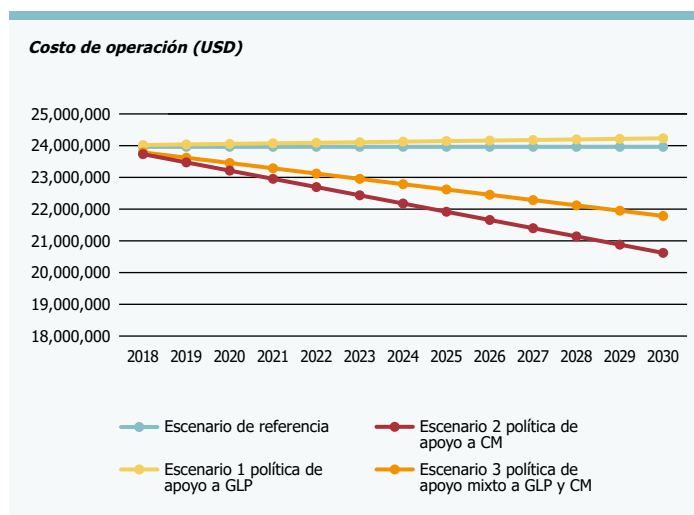
Los costos de implementación son el reflejo de los costos de materiales y de instalación de las tecnologías. Por ello, se muestra a la estrategia mixta (escenario 3) como la más costosa, ya que incluye ambas tecnologías. En segundo lugar, se muestra el escenario 2 como la opción intermedia, ya que el costo de implementación de una CM es elevado. Por último, asumir una política de apoyo al GLP, implican costos bajos porque los modelos de cocinas a gas para zonas rurales suelen ser pequeñas y simples, significando un bajo costo de inversión por cada unidad.

Gráfico 11. Costo anual de implementación de los diferentes escenarios en México



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 12. Costo de operación de las tecnologías en los diferentes escenarios en México



Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Comparación del costo de operación entre escenarios

En el gráfico 12 se observa que en el caso de México las tendencias son a la baja para dos de los tres escenarios, y que el tercero es muy similar al escenario de referencia. El escenario 1 (política de apoyo al GLP) presenta, de esta manera, costos de operación superiores (solo del 0,8% con respecto a los costos del escenario de referencia). Esto se explica dado que los gastos de combustible son casi iguales en las dos situaciones, porque el incremento del costo en el escenario 1, relacionado a la compra adicional del GLP, está compensada por una reducción de las necesidades de compra de leña. Al final, es el costo de mantenimiento de las cocinas a GLP el rubro que incrementa el costo de operación del escenario 1, volviéndolo más costoso que el escenario de referencia.

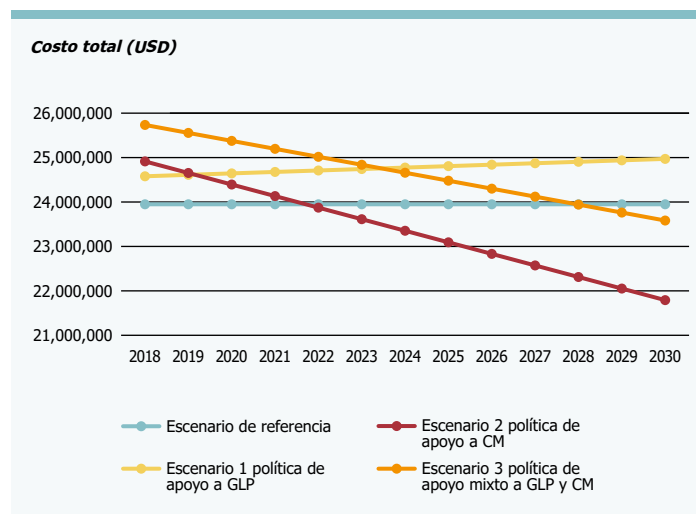
En cambio, los costos de los escenarios 2 (apoyo a CM) y 3 (estrategia mixta) presentan tendencias a la baja y son inferiores a los costos existentes en el escenario de referencia. Esto es posible ya que las CM permiten un ahorro significativo en el consumo de leña, al mismo tiempo que una reducción importante del costo de combustible en comparación a la situación de uso de fogones tradicionales. Esta reducción del costo es mayor en el caso del escenario 2, ya que en el escenario 3 se adiciona el costo de la compra del GLP. Si bien existen gastos de mantenimiento de las tecnologías en los dos escenarios, estos son marginales en comparación con el costo de combustible y, de esta manera, se compensan. Las políticas que incluyen difusión de CM aparecen como alternativas de mitigación más económicas para el usuario, una vez implementadas las cocinas.

5.3.4 Comparación del costo total entre escenarios

El costo total contempla el costo de implementación, de uso y mantenimiento de las tecnologías correspondientes a cada escenario.

Si se analizan los resultados durante todo el período en estudio (2018-2030), se puede decir que la opción más económica es optar por una implementación de CM (escenario 2). La diferencia con los escenarios 3 (estrategia mixta) y 1 (apoyo al GLP) no es

Gráfico 13. Costo total de los diferentes escenarios en México



Fuente: Elaboración propia

significativa y además presentan costos similares, superiores solo en 5% y 6%, respectivamente, en comparación con el escenario de implementación de CM.

En cuanto a las tendencias, se puede observar que los escenarios 2 y 3 implican una reducción lineal del costo total. Esto está relacionado con la reducción del consumo de leña que permite ahorrar, en el caso del escenario 2, 11% en los costos de combustible en comparación al escenario de referencia. Esta reducción es menor en el caso del escenario 3, ya que se adiciona la compra del GLP y el costo de mantenimiento incluye a dos tecnologías.

Por otro lado, el escenario 1 (apoyo al GLP) presenta costos totales bastante constantes, debido a que el costo de combustible aumenta de manera muy ligera porque el gasto adicional para comprar el GLP está compensado por un menor gasto de compra de leña mediante la sustitución de una proporción de los fogones abiertos.

En México, según los supuestos planteados se nota que el escenario 2 (apoyo a CM) tiene un costo total inferior al escenario de referencia, ya que la reducción de consumo de leña permite disminuir el costo de combustible en una proporción superior al costo de implementación de la tecnología.

5.4 Comparación entre países

Al observar los resultados obtenidos en el análisis de costos totales, se ve que las tendencias difieren por país. La explicación a lo antes mencionado son los valores de costos considerados por país. Por ello, a continuación se presenta un resumen de las variables utilizadas para los cálculos en cada país (tabla 20).

Al comparar los costos de implementación entre los países, independientemente de los escenarios, se puede apreciar que el país que presenta los menores costos de implementación es Perú, representando entre 1,6-2,1 veces menos en comparación a lo que se requiere en México y Colombia. También, se evidenció en este país un significativo ahorro de leña mediante la implementación de CM. Por consecuencia, en Perú es menos costoso implementar cada uno de los tres escenarios en comparación a Colombia y México.

En cambio, México presenta los costos totales más elevados en cada uno de los escenarios, a pesar de que implementar una CM resulta más caro en

Colombia (más de 2 veces más que en México) debido al tamaño y complejidad de los modelos que se utilizan en este país. Los elevados costos totales en México están relacionados con diversas variables como que el ahorro de leña mediante las CM es menor, el consumo de GLP es mucho más alto, el costo de una cocina a GLP también es elevado y, finalmente, la proporción de familias que compran leña es casi tres veces superior a la de los demás países, implicando costos de combustible mucho más altos.

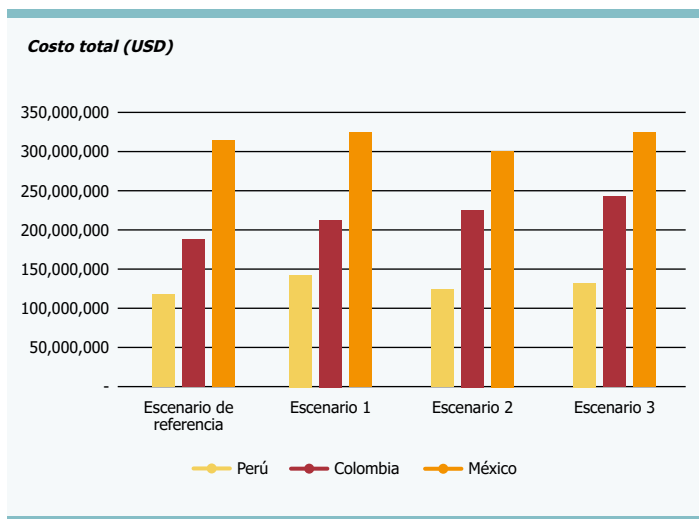
Con respecto a los costos de operación, estos incluyen los costos de compra de combustible y mantenimiento de las tecnologías. En la compra de GLP, se denota que los tres países presentan precios similares (US\$/kg de GLP), lo que nos indica que la variable que tiene una influencia significativa en los costos es el consumo por familia y no el precio del GLP. De la misma forma, en el caso de la leña, la variable más influyente es el consumo del combustible; así como la cantidad de familias que consumen leña.

Tabla 20. Resumen de variables utilizadas para los cálculos en cada país

Variable		Perú	Colombia	México
Tecnología	Cantidad de cocinas implementadas	7.692	7.692	7.692
Consumo energético	Fogón tradicional con leña (kg/vivienda/año)	4.325	5.219	4.827
	Cocina mejorada con leña (kg/vivienda/año)	2.347	2.958	3.310
	Cocina a GLP (kg/vivienda/año)	132	168	241
Eficiencia energética	Ahorro de leña (%)	45,73	43,33	31,42
Costo de implementación	Cocina mejorada (US\$)	126,00	367,91	161,45
	Cocina a gas (US\$)	32,99	64,84	84,66
	Balón de gas-compra o garantía (US\$)	16,45	30,59	60,87
Costo de mantenimiento	Cocina mejorada (US\$)	15,99	64,23	22,57
	Cocina a gas (US\$)	3,30	6,48	8,47
Costo de energéticos	GLP (US\$/kg)	1,19	1,36	1,023
	Leña (US\$/kg)	0,21	0,23	0,17
	Proporción de las familias que compran leña	10,40%	11,80%	28,61%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14. Costo total por escenario y país



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las tendencias, el gráfico 14 muestra que es el escenario 3 (estrategia mixta) el que representa un costo mayor para los tres países porque considera dos tecnologías, haciendo de esta opción la menos atractiva desde el punto de vista económico. En cambio, la opción menos costosa en términos absolutos varía según los países. Para Perú y México, adoptar una política de implementación de CM es la mejor elección porque el costo de instalación de una CM es relativamente bajo. En cambio, para Colombia el costo de las CM es muy elevado, por lo que la mejor opción es optar por una política de apoyo a cocinas a GLP. Sin embargo, es necesario mencionar que estos resultados ayudan a tener una idea de los costos en cada escenario, pero no son concluyentes porque no toman en cuenta el potencial de reducción de CCVC. Para ello, se debe realizar un análisis del costo de reducir una tonelada de cada contaminante (sección 6).

Tabla 21. Resumen de costos totales por cada escenario

Costo total (US\$)				
País	Escenario de referencia	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Perú	120'917.290	135'509.527	121'625.122	140'329.208
Colombia	187'108.880	208'975.915	224'736.317	249'010.099
México	311'735.063	322'666.271	304'237.739	320'012.751

Fuente: Elaboración propia



6. Evaluación del costo de reducción de una tonelada de CCVC

6.1 Perú

Se realizaron los cálculos para determinar el costo total de reducir una tonelada de cada contaminante en estudio (tabla 22). Tal como fue explicado en la sección 3 para este cálculo se restó del costo total de cada escenario el costo del escenario de referencia para poder realizar la comparación.

En los resultados, se observa que para lograr la reducción de los tres contaminantes, la opción más económica consiste en adoptar una política de implementación masiva de CM (escenario 2). Este escenario requiere costos de implementación significativos, pero estos están compensados -en

Tabla 22. Costo promedio de reducción de una tonelada de CCVC en Perú

	Costo promedio de una tonelada reducida (US\$)		
	Carbono negro (CN)	Monóxido de carbono (CO)	Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes al Metano (COVNM)
Escenario 1: apoyo al GLP	18.262	227	787
Escenario 2: apoyo a CM	523	5	15
Escenario 3: estrategia mixta	9.554	108	318

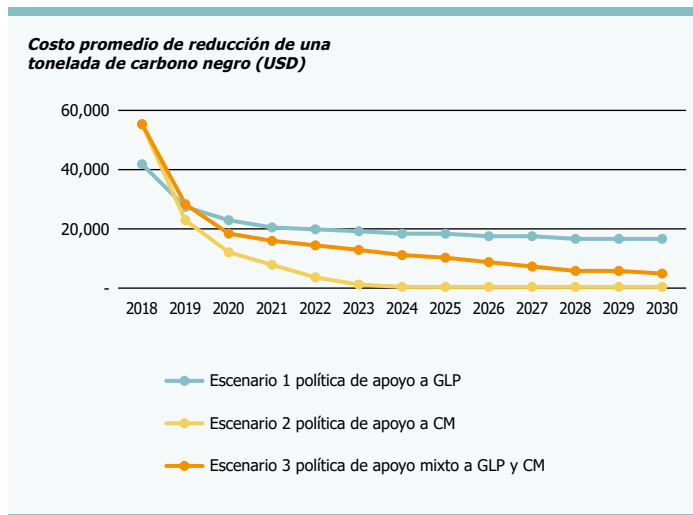
Fuente: Elaboración propia

gran proporción- por la reducción del gasto de compra de leña para los usuarios. Si bien no es la política que efectúa la mayor reducción de CCVC, su costo total durante el periodo en estudio es el más bajo, llegando a ser la alternativa más interesante para reducir una tonelada de cada contaminante.

Por otro lado, optar por una política de apoyo al GLP (escenario 1), tiene el costo más elevado de reducción de cada uno de los tres compuestos en evaluación. Esto último se debe a las bajas reducciones de CCVC realizadas (tabla 8) y a los elevados costos de operación relacionados con la necesidad de compra del combustible. Finalmente, el escenario 3 presenta un costo intermedio de reducir una tonelada de cada CCVC, ya que sus importantes beneficios en términos de disminución de la contaminación están compensados por su alto costo total relacionado con la implementación y uso de ambas tecnologías.

Con respecto a la tendencia del costo total por tonelada de contaminante reducido entre los años 2018-2030, los tres contaminantes presentan curvas descendentes similares. El gráfico 15 muestra el caso del CN, donde se puede observar que, al inicio, el escenario 1 presenta un menor costo, mientras que los escenarios 2 y 3 tienen costos similares y más elevados. Esto se debe al peso del costo de implementación de las CM en comparación con la reducción efectiva de los CCVC cuando las primeras

Gráfico 15. Costo total por tonelada de carbono negro reducida en los diferentes escenarios en Perú



Fuente: Elaboración propia

cocinas acaban de ser instaladas y los volúmenes aún no se acumulan. Sin embargo, a partir del año 2020, la situación se invierte por completo. De esta forma, se tiene que el escenario de apoyo al GLP termina siendo más costoso para reducir una tonelada de CN y el escenario de difusión de CM el más interesante.

6.2 Colombia

Se realizaron los cálculos para determinar el costo total de reducir una tonelada de cada contaminante en estudio (tabla 23).

Al observar los resultados, se aprecia que una misma alternativa no permite reducir una tonelada de ninguno de los CCVC analizados a menor costo. En el caso del CO y de los COVNM, adoptar una política de implementación masiva de CM aparece como la opción más interesante. Eso puede sorprender ya que esta estrategia no presenta las mayores reducciones de estos CCVC ni implica los costos totales más bajos. Sin embargo, la relación entre su impacto intermedio en términos de CCVC y sus

costos totales no tan elevados, coloca nuevamente a esta política como la más atractiva para reducir el CO y los COVNM.

En cambio, en el caso del CN es el escenario 1 de apoyo a cocinas a GLP que vuelve ser el óptimo, con un costo promedio de reducción de 1 tonelada de CN menor a las demás políticas. Esto último se debe a los valores de los factores de emisión de este CCVC. Se observa que el factor de emisión del CN para una CM es 74 veces mayor al factor de emisión de una cocina a GLP, cuando este factor alcanza solo 2,8 en el caso del CO y 0,1 en el caso de los COVNM.

Tabla 23. Costo promedio de reducción de una tonelada de CCVC en Colombia

	Costo promedio de una tonelada reducida (US\$)		
	Carbono negro (CN)	Monóxido de carbono (CO)	Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes al Metano (COVNM)
Escenario 1: apoyo al GLP	22.678	281	978
Escenario 2: apoyo a CM	23.644	246	643
Escenario 3: estrategia mixta	25.601	288	840

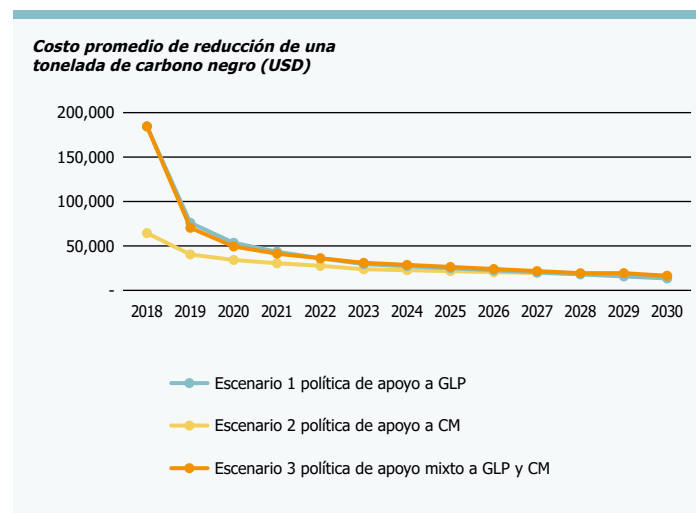
Fuente: Elaboración propia

En referencia a las opciones más costosas para cada contaminante, se puede notar que para el CN y el CO la opción más costosa es adoptar el escenario de estrategia mixta (escenario 3). Aunque las reducciones de CN y CO en este escenario son mayores en comparación con las demás alternativas, las reducciones son bajas en términos absolutos y no compensan los altos costos relacionados con la implementación de dos tecnologías.

Por otro lado, al analizar los costos para reducir una tonelada de COVNM, se puede distinguir que la opción menos económica es implementar cocinas a gas masivamente (escenario 1). Tal como ha sido mencionado, esto se debe al valor del factor de emisión de este CCVC. En el caso del COVNM, el factor de emisión de una CM es 10 veces menor al de una cocina a GLP. Esto resulta en reducciones menores de este CCVC en valores absolutos en el escenario 1 (apoyo al GLP), lo que encarece esta alternativa y la vuelve menos interesante en términos económicos.

Con respecto a la tendencia del costo total por tonelada de contaminante reducido entre los años 2018-2030, se muestra el caso del CN en el gráfico 16. En dicho gráfico, se puede observar que en la primera mitad del periodo de estudio es más costoso reducir una tonelada de CN en una política de apoyo a CM, incluso más que adoptar una estrategia combinada de CM y GLP. Esto se debe al peso del costo de implementación de las CM en comparación con la reducción efectiva del CN, dado que el factor de emisión de este CCVC es muy alto para las CM en comparación con el de las cocinas a GLP.

Sin embargo, a partir del año 2027, el escenario 1 (política de apoyo al GLP) tiende a ser ligeramente más costoso que los otros escenarios de mitigación. Este ligero cambio en la tendencia, el cual es más notorio al analizar los otros contaminantes, se debe al hecho de que el ritmo de reducción del CCVC es, en el caso de las cocinas a GLP, menor que el ritmo de aumento de los costos dado las bajas tasas de uso y adopción de esta tecnología.

Gráfico 16. Costo total por tonelada de carbono negro reducida en los diferentes escenarios en Colombia

Fuente: Elaboración propia

6.3 México

Se realizaron los cálculos para determinar el costo total de reducir una tonelada de cada contaminante en estudio (tabla 24).

Es importante observar que para este cálculo se restó del costo total de cada escenario el costo del escenario de referencia para poder hacer la

comparación. En el caso de México esto resultó en valores negativos para el escenario 2 (difusión de CM) indicando que el costo total de este escenario, el cual toma en cuenta el costo de implementación y de operación de la tecnología, es menor que el del escenario de referencia.

Tabla 24. Costo promedio de reducción de una tonelada de CCVC en México

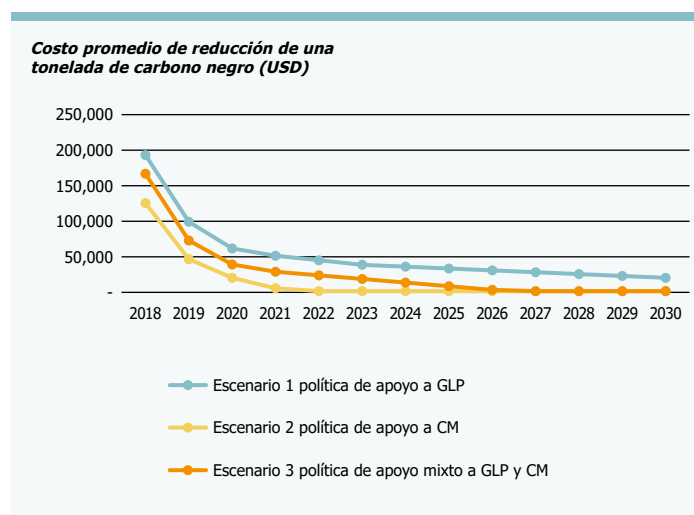
	Costo promedio de una tonelada reducida (US\$)		
	Carbono negro (CN)	Monóxido de carbono (CO)	Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes al Metano (COVNM)
Escenario 1: apoyo al GLP	34.607	195	4.298
Escenario 2: apoyo a CM	-10.786	-67	-910
Escenario 3: estrategia mixta	8.869	53	857

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, se observa que para lograr la reducción de los tres contaminantes, la opción más económica consiste en adoptar una política de implementación masiva de CM (escenario 2). Este escenario requiere de costos de implementación significativos, pero al mismo tiempo, permite bajar los costos de operación en comparación al escenario de referencia, con la reducción del gasto para comprar leña. Si bien no es la política que genera la mayor reducción de CCVC, su costo total durante el periodo en estudio es el más bajo, llegando a ser la alternativa más interesante para reducir una tonelada de cada contaminante.

Por otro lado, optar por una política de apoyo al GLP (escenario 1), tiene el costo más elevado para los tres compuestos en evaluación. Esto último, se debe a las bajas reducciones de contaminantes y a los altos costos de esta política, relacionada con la compra de GLP. Finalmente, el escenario 3 (estrategia mixta) presenta un costo intermedio de reducir una tonelada de cada CCVC, ya que sus beneficios en términos de disminución de la contaminación están compensados por su alto costo total relacionado con la implementación y uso de ambas tecnologías.

Gráfico 17. Costo total por tonelada de carbono negro reducida en los diferentes escenarios en México



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la tendencia del costo total por tonelada de contaminante reducido entre los años 2018-2030, se muestra en el gráfico 17 los resultados relacionados con el carbono negro, donde se puede observar que los tres escenarios presentan curvas descendentes similares. Durante todo el periodo del estudio es más costoso reducir una tonelada de CN en una política de difusión de cocinas a GLP, ya que esta política presenta las menores reducciones de CCVC y los costos más altos relacionados con la compra de GLP. Por otro lado, el costo total por tonelada de CN reducida

es menor a lo largo del tiempo en el caso de una estrategia de implementación de CM. Esto se debe al hecho de que esta opción presenta el costo total más bajo. A partir del año 2028, el escenario de apoyo mixto (escenario 3) alcanza al escenario de apoyo a CM (escenario 2), es decir, llega a presentar un costo por tonelada de CN reducida casi igual. Esto último debido a que la implementación de dos tecnologías, en el escenario 3, genera un ahorro de leña considerable (mayor reemplazo de fogones tradicionales) que compensa el elevado costo que implica este escenario.

6.4 Comparación entre países

En la sección anterior se realizó un análisis por contaminante en cada país, en esta sección se busca comparar los resultados entre los tres países.

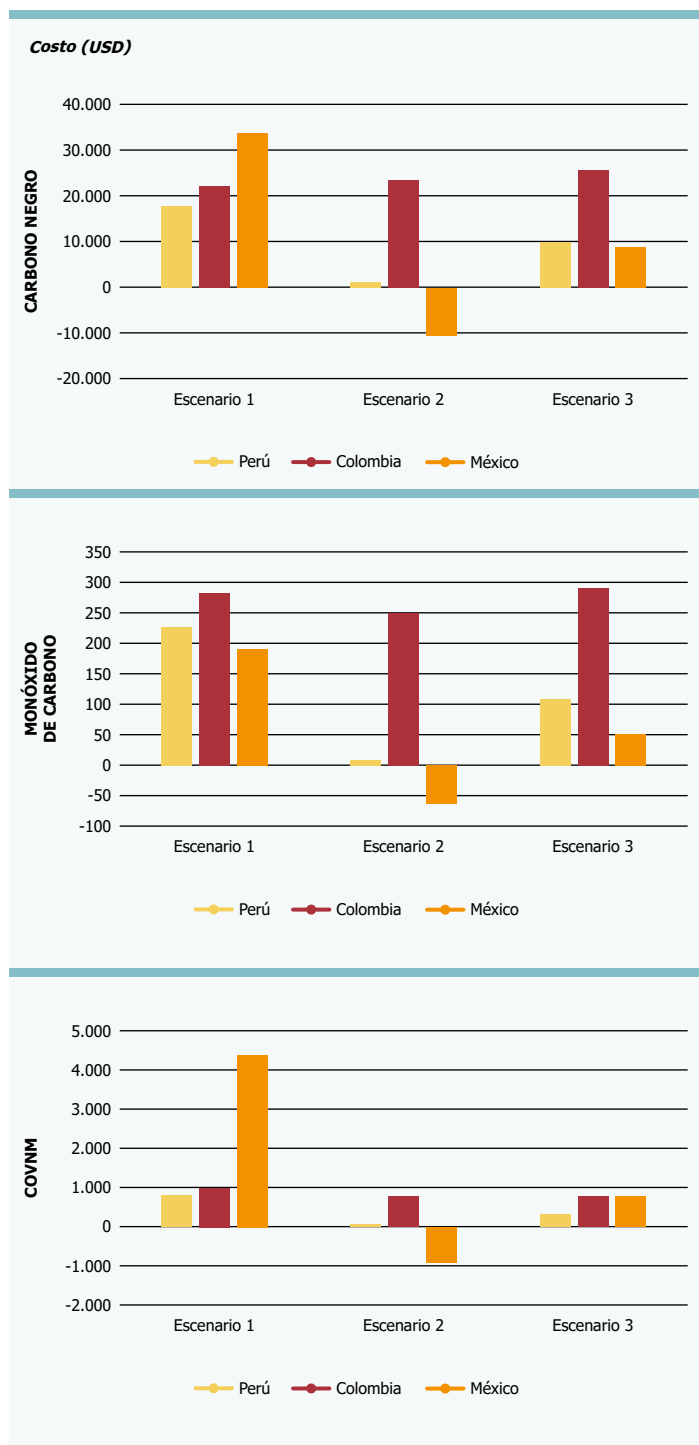
Para ello, se deben tener claro las diferencias de los datos considerados por país, los cuales se presentan en el siguiente resumen (tabla 25).

Tabla 25. Resumen de variables utilizadas para los cálculos en cada país

Variable		Perú	Colombia	México	
Tecnología	Cantidad de cocinas implementadas	7.692	7.692	7.692	
Consumo energético	Fogón tradicional con leña (kg/vivienda/año)	4.325	5.219	4.827	
	Cocina mejorada con leña (kg/vivienda/año)	2.347	2.958	3.310	
	Cocina a GLP (kg/vivienda/año)	132	168	241	
Eficiencia energética	Ahorro de leña (%)	45,73	43,33	31,42	
Factor de emisión	CN	Fogón tradicional con leña (g/kg)	1,10	1,10	0,39
		Cocina mejorada con leña (g/kg)	0,74	0,74	0,10
		Cocina a GLP (g/kg)	0,01	0,01	0,01
	CO	Fogón tradicional con leña (g/kg)	89,10	89,10	70,00
		Cocina mejorada con leña (g/kg)	42,00	42,00	27,00
		Cocina a GLP (g/kg)	14,90	14,90	14,90
	COVNM	Fogón tradicional con leña (g/kg)	26,10	26,10	4,07
		Cocina mejorada con leña (g/kg)	1,87	1,87	0,38
		Cocina a GLP (g/kg)	18,80	18,80	18,80
Costo de implementación	Cocina mejorada (US\$)	126,00	367,91	161,45	
	Cocinas a gas (US\$)	32,99	64,84	84,66	
	Balón de gas-compra o garantía (US\$)	16,45	30,59	60,87	
Costo de mantenimiento	Cocina mejorada (US\$)	15,99	64,23	22,57	
	Cocinas a gas (US\$)	3,30	6,48	8,47	
Costo de energéticos	GLP (US\$/kg)	1,19	1,36	1,023	
	Leña (US\$/kg)	0,21	0,23	0,17	
	Proporción de familias que compran leña	10,40%	11,80%	28,61%	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 18. Costo promedio para reducir una tonelada de CCVC en cada país



Fuente: Elaboración propia

Con respecto al costo de reducir una tonelada de cada contaminante en evaluación, se puede observar que Colombia presenta los valores más altos de los tres países en las políticas que incluyen CM (escenarios 2 y 3), debido principalmente a que los costos de implementación y mantenimiento de esta tecnología son superiores a los de Perú y México. La única excepción a lo explicado anteriormente es el análisis en los costos del escenario 3 para COVNM, donde México supera a Colombia porque la relación entre costo total y reducción de emisiones, de donde sale el costo promedio de reducir una tonelada, cambia por dos motivos: (i) una menor diferencia entre los factores de emisión de fogón tradicional y CM para México, lo que se traduce en menores reducciones en este país, y (ii) los costos de implementación y mantenimiento para cocina a gas son mayores en México, lo cual eleva los costos totales. En cambio, la difusión de cocinas a GLP en México implica un costo para reducir una tonelada de CCVC más alto al de los demás países, ya que esta tecnología es más costosa allá, además del consumo de GLP. Se podría pensar que el costo de reducir una tonelada de cada contaminante en México es más alto también para los otros escenarios, ya que este país presenta mayores costos totales y menores reducciones de CCVC en términos absolutos. Sin embargo, las políticas que implementan CM (escenarios 2 y 3) vuelven a ser más interesantes en México ya que el ahorro de leña permite reducir significativamente el costo del combustible, el cual compensa el costo de implementación de la tecnología. Esta particularidad está relacionada al hecho de que, en México, la proporción de familias comprando leña es casi tres veces mayor a la proporción en Perú y Colombia.

Por otro lado, Perú presenta casi en cada uno de los casos, un costo para reducir una tonelada de CCVC intermedio entre los valores de Colombia y México. Se esperaría que Perú presente los resultados más interesantes dado que es el país en el cual implementar una CM o una cocina a GLP resulta menos costoso, tal como se muestra en los resultados obtenidos en el escenario 1 para dos de los contaminantes estudiados. Sin embargo, el costo para reducir una tonelada de CCVC con una CM es mayor al de México, ya que el beneficio del ahorro de leña y su gasto correspondiente en la compra del combustible es limitado por la baja proporción de personas comprando leña.

Tabla 26. Resumen de costos promedios por reducir una tonelada de CCVC

Costo promedio de una tonelada reducida (US\$)				
Contaminante	País	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
CN	Perú	18.262	523	9.554
	Colombia	22.678	23.644	25.601
	México	34.607	-10.786	8.869
CO	Perú	227	5	108
	Colombia	281	246	288
	México	195	-67	53
COVNM	Perú	787	15	318
	Colombia	978	643	840
	México	4.298	-910	857

Fuente: Elaboración propia



7. Conclusiones

7.1 Reducción de emisiones de CCVC

Los tres países en estudio presentan niveles de consumo energético similares para leña, lo que se refleja en los resultados referidos a emisiones en los escenarios de mitigación. Es decir, se observan tendencias muy parecidas en los diferentes países al asumir los supuestos de cada escenario. Con esto se puede concluir que:

- ☞ La combustión incompleta e ineficiente de los combustibles sólidos constituye una fuente significativa de emisión de CCVC (PNUMA, 2016). Por ello, mientras mayor sea el reemplazo de fogones abiertos, mayor será la mitigación de la contaminación causada por CCVC.

- ☞ Las cocinas a GLP presentan factores de emisión de CCVC más bajos en comparación con las CM; sin embargo, la baja tasa de uso según resultados observados en campo³⁴, limita significativamente la reducción de emisiones. Por ello, en el escenario 1, donde la política es de apoyo al uso de GLP, las reducciones son las más bajas, convirtiéndola posiblemente en una alternativa poco eficiente. Sin embargo, si se llegan a superar las barreras de uso de GLP, podría llegar a ser una opción interesante.
- ☞ Según los supuestos planteados basados en observaciones en campo se observa que la implementación masiva de CM (escenario 2)

³⁴ Según UNOPS (2015), entre los usuarios de CM para Perú: «el 73% prefería usar las cocinas mejoradas con respecto a las otras cocinas existentes en el hogar (GLP y tradicional)». Además, en el mismo estudio se explica: «La cocina mejorada se utiliza principalmente para las tres comidas diarias o para hervir agua; los fogones son útiles para cocinar en cantidad o para la cocción de alimentos duros; mientras que las cocinas a GLP se utilizan para momentos que requieren prisa, como el desayuno de los niños o para calentar la cena».

permite lograr una mayor disminución de la contaminación que el escenario de apoyo a las cocinas a GLP (escenario 1), ya que las CM tienen una tasa de uso mayor porque se tiene mayor acceso al combustible (leña) y la mayoría de las necesidades energéticas de las familias se llegan a cubrir.

- Finalmente, adoptar una estrategia de uso combinado (CM y cocinas a GLP) presenta las emisiones más bajas de CCVC, ya que la sustitución de fogones abiertos se da en mayor proporción en este escenario

7.2 Costos de implementación y operación

Se realizó una evaluación de costos de implementación de las tecnologías y uso de las mismas. Para ello, se utilizaron datos específicos para cada país, donde se obtuvieron resultados distintos. Luego, se analizaron dichos resultados y se concluyó en los siguientes puntos:

- Hemos observado que los costos de implementación de las tecnologías varían significativamente en cada país. Así, el país que presenta los costos más bajos para las dos tecnologías es Perú. En México, las cocinas a GLP son las más caras de los tres países, mientras que Colombia presenta los costos más elevados para las CM. Si bien no tenemos una explicación de dichas diferencias, podemos sugerir algunas justificaciones relacionadas con el poder de compra en cada país, el costo de mano de obra, el nivel de desarrollo tecnológico, el enfoque de los programas que se vienen manejando, la lejanía de las zonas rurales con respecto a las ciudades, entre otras. Por ejemplo, en Perú se están desarrollando varios modelos de cocinas mejoradas en los últimos años lo que permite que los precios sean cada vez menores. En cambio, en el caso de Colombia el modelo de CM que más se ha difundido tiene una estructura compleja y el transporte de materiales y construcción encarecen su costo.
- Al analizar los costos necesarios para la instalación de las cocinas consideradas en este estudio, la opción más económica es adoptar cocinas a GLP. Esto se explica por los bajos costos de implementación de esta tecnología en comparación a los de las cocinas mejoradas en los tres países.



- Luego de instalar las tecnologías, una política de apoyo a cocinas a GLP generaría más gastos que una CM. Si bien el mantenimiento de una cocina a GLP es menos costoso que el de una CM, la necesidad de compra del GLP aumenta considerablemente el costo de operación de la tecnología; mientras que, si adoptaran una CM, se reduciría el consumo de la leña y de la misma manera el costo de combustible para las familias quienes compran leña.

- ☉ Al observar los resultados obtenidos en cuanto al costo total de cada escenario, la política de apoyo a CM (escenario 1), aparece como la menos costosa para Perú y México, donde los costos de compra del GLP superan los costos de implementación de las CM. Por el contrario, en Colombia, la política de apoyo a cocinas a GLP resulta ser la opción menos costosa debido a los altos

costos de implementación de las CM en el país. Sin embargo, es necesario mencionar que estos resultados ayudan a tener una idea de los costos en cada escenario, pero no son concluyentes porque no toman en cuenta el potencial de reducción de CCVC. Para ello, se debe realizar un análisis del costo de reducir una tonelada de cada contaminante (ver siguiente sección).

7.3 Costos de reducción por tonelada de CCVC

Después de realizar un análisis de emisiones y de costos por separado, se trabajó en la relación existente entre los costos totales y las reducciones de emisiones de CCVC. De esta manera, como producto de esto último, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- ☉ Durante los primeros años, optar por una política de fomento al GLP resulta más barato para reducir las emisiones de CCVC en Perú y Colombia; sin embargo, la curva correspondiente a este escenario mantiene una tendencia estable durante todo el período, debido al costo correspondiente a la compra del combustible. Sin embargo, las curvas correspondientes a los otros escenarios muestran una reducción progresiva, llegando a mostrar costos menores que el escenario de fomento exclusivo al GLP. Así, se puede ver la fuerte influencia de la necesidad de compra del GLP, y el potencial del ahorro en la compra de leña en los escenarios que incluyen la difusión de CM.
- ☉ Considerando los costos promedio de reducción de una tonelada de contaminante, los resultados señalan, en ocho de los nueve casos estudiados, que la opción más pertinente es adoptar una política de implementación masiva de CM. Además, es importante resaltar que los costos de implementación y de operación de las tecnologías influyen directamente en los resultados obtenidos: Colombia presenta los costos para CM más altos y Perú los más bajos; sin embargo, las reducciones de consumo de leña son muy

relevantes cuando las emisiones son bajas, en términos absolutos, tal como ocurre al analizar el CN en el escenario 1 y los COVNM en los escenarios 1 y 3, donde los costos más altos los presenta México y no Colombia, como se esperaba.³⁵

- ☉ Al observar la evolución del costo promedio de reducir una tonelada de CCVC se puede



³⁵ Debido a niveles más bajos, en términos absolutos, del consumo de leña en línea de base y del ahorro de leña alcanzado por las CM en México en comparación a los demás países.

apreciar que en los primeros años los costos para los tres escenarios de mitigación son elevados, y luego van reduciendo. Esta tendencia se debe a que al comienzo del

período el reemplazo de fogones tradicionales es bajo, sin embargo, conforme van pasando los años el reemplazo se va elevando y los costos promedio se reducen (la curva baja).

7.4 Conclusión final

Mediante este estudio, se llegó a resultados que permiten comparar tres escenarios de mitigación planteados para países en Latinoamérica, y nos muestra cuál es la estrategia óptima en términos de reducción de emisiones de CCVC y costos generados por cocción en el ámbito rural en situación de pobreza. En efecto, se observó que:

- ☉ Es el uso combinado de las CM y cocinas a GLP el que permite lograr la mayor reducción de CCVC.
- ☉ Una política de difusión masiva de cocinas a GLP es más económica en uno de los tres países estudiados (en términos de costos totales), mientras que en los otros dos países la opción menos costosa es asumir una política de apoyo a CM.
- ☉ Sin embargo, cuando se toma en consideración el potencial de reducción de los CCVC, la estrategia de implementación de CM presenta la relación costo-beneficio más interesante en casi todos los casos evaluados, debido a la alta tasa de uso que esta tecnología alcanza.
- ☉ Algunos de estos resultados tienen poca probabilidad de variar en los próximos años, considerando que la tendencia muestra que las diferencias entre los escenarios se ahondarán. Entre dichas tendencias está el posible aumento del precio del GLP o la reducción de los costos de implementación de las CM por un mayor desarrollo tecnológico en ciertos países.

Parece claro que, considerando que hoy en día no existe una única tecnología que permita resolver el problema del uso de fogones abiertos para la cocción en Latinoamérica, es necesario plantearse un abanico de alternativas tecnológicas y de combustibles (fuel stacking), incluyendo el uso de combustibles sólidos (Ruiz-Mercado et al., 2015). En efecto, el reemplazo completo del fogón abierto por una única nueva tecnología es poco común, por

eso sigue siendo utilizado en paralelo con la nueva cocina para cubrir los requerimientos energéticos de las familias (Stanistreet et al., 2014; Puzzolo et al., 2016). Por ello, es necesario reforzar este enfoque a fin de alcanzar el mayor reemplazo de fogones abiertos en el uso cotidiano (Rosenthal et al., 2017), y así optimizar la reducción de las emisiones de CCVC.

El estudio se enfocó en la evaluación de dos tecnologías, las cocinas mejoradas y las cocinas a GLP, ya que son estas las que se usan con mayor frecuencia en las zonas rurales en situación de pobreza de los países en estudio, y pueden entonces ser difundidas con menor dificultad a gran escala y a corto plazo en un contexto rural. En el futuro, otras alternativas deberán considerarse si es que se



desea eliminar totalmente el uso de fogones abiertos para la cocción y lograr mayores reducciones de CCVC a largo plazo.

En resumen, para una estrategia a corto plazo, la implementación simultánea de CM y cocinas a GLP entre familias del sector rural que cocinan con fogón abierto, representa la opción más eficiente en términos de reducción de los CCVC, ya que permite el abandono de los fogones abiertos casi en su totalidad.

No obstante, el escenario de estrategia combinada (CM y cocinas a GLP), no puede necesariamente ser aplicado a cada país de la región, ni a toda la población de un mismo país. El tema debe ser evaluado con más detalle, caso por caso en cada país, tomando en consideración, entre otros factores: las alternativas energéticas existentes, el estado actual del sector de las cocinas, la infraestructura de distribución de los combustibles en todo el país, la cantidad de personas cocinando con fogones abiertos, el poder adquisitivo de la población objetivo, los recursos disponibles en el Estado para financiar este tipo de programas, y sobre todo, los aspectos culturales (Jeuland et al., 2016).

Asimismo, dentro de un mismo país, no será necesariamente posible iniciar la transición al uso de CM y cocinas a GLP de todas las familias que siguen utilizando fogones abiertos en el corto plazo. Es relevante distinguir a aquellos que presentan capacidad de pago suficiente para participar en la compra de las tecnologías o por lo menos incurrir en gastos de mantenimiento y compra de combustible cuando las cocinas estén instaladas, de aquella población que no cuenta con la capacidad de pago suficiente y/o no se puede beneficiar con el abastecimiento de GLP por su lejanía/inaccesibilidad geográfica. En esta segunda parte de la población, se debería priorizar un programa de implementación de CM (OMS, 2014; Still et al., 2014).

Es importante señalar que las cocinas a GLP son ciertamente una tecnología que presenta emisiones de CCVC mucho más bajas que las cocinas a leña

y podrían constituir una respuesta eficiente para reducir la contaminación si fuera posible volverlas accesibles y económicamente asequibles. Sin embargo, el GLP sigue siendo un derivado de la extracción del petróleo y gas natural -un recurso limitado-, y por lo tanto no puede ser considerado como una solución sustentable (Troncoso, 2018). Además, sería necesario realizar un estudio del ciclo de vida del GLP, ya que su producción y distribución generan incluso otros CCVC, como el metano, el cual no pudo incluirse en este estudio.

Por otra parte, la implementación masiva de cocinas a GLP en viviendas donde se sigue usando fogones abiertos requiere el establecimiento de una política de subvención del precio del GLP, puesto que el alto costo de este combustible es una de las barreras principales para la adopción de esta tecnología. Un sistema de subvenciones, incluso si es dirigido específicamente a quienes lo necesitan y no es universal, representa un costo adicional significativo para el Estado que debe ser capaz de financiarlo. Además, conlleva complicaciones importantes al momento de eliminar el subsidio, tal como lo ocurrido en India. Asimismo, en el contexto actual de lucha contra el cambio climático, una subvención estatal para combustible fósiles parece tener un costo político alto.

Con respecto a las cocinas mejoradas, estas representan una solución para reducir las emisiones de CCVC, pero parece importante que se trate de optimizar su diseño y uso para favorecer una combustión más completa de la leña y asegurar que cubra el conjunto de las necesidades de las familias. Paralelamente, es indispensable que las evaluaciones no estén realizadas solamente en laboratorios, sino también en campo para medir el desempeño de los diferentes modelos en condiciones reales. Finalmente, es importante adoptar normas técnicas a nivel nacional o regional con el fin de definir criterios mínimos de calidad de las cocinas, y constituir organismos certificadores para que evalúen todo modelo presentado en el mercado.



8. Recomendaciones

El estudio se ha hecho en un contexto de condiciones específicas que implican una serie de limitaciones que presentamos a continuación e identificamos

posibles aspectos que podrían ser profundizados en futuras investigaciones.

8.1 Reducción de emisiones de CCVC

Para no sobrestimar las potenciales reducciones de emisiones logradas por una tecnología es importante tomar en cuenta la realidad del campo. En nuestro caso, se ha observado que ningún programa de cocción limpia logra suprimir al 100% el uso de fogones tradicionales con una sola tecnología. Es importante considerar que una proporción de la población no va a adoptar la tecnología, las razones pueden ser: falta de sensibilización, capacitación, adecuación de la tecnología, acceso a combustible, entre otras. Además, para aquellos que sí lleguen a adoptar la nueva tecnología, es posible que esta no permita suplir todas las necesidades energéticas de los usuarios (van der Kroon et al., 2013; Andadari

et al., 2014; Thurber et al., 2014). Se recomienda entonces evaluar los diferentes escenarios considerando las emisiones del uso de múltiples combustibles y/o tecnologías con la información que se vaya generando.

Según los supuestos planteados en el estudio, en términos de reducción de las emisiones de CCVC, se recomienda afinar las características del escenario 3 que corresponde a una instalación simultánea de CM y cocinas a GLP, pues el uso combinado de estas dos tecnologías permite alcanzar la mayor tasa de sustitución de los fogones abiertos y, en consecuencia, menos emisiones de CCVC.

8.2 Costos de implementación y operación

En el estudio presentado se manejan dos tipos de costos: el costo de implementación de la tecnología y el costo de operación de esta. El costo de implementación se refiere al costo de inversión inicial necesaria para equipar a las familias con nuevas cocinas e incluye el costo de los materiales, mano de obra, transporte, actividades de sensibilización y capacitación de las familias. Muchas veces, los programas presentes en los países optan por subvencionar totalmente o parte de este costo y otras veces es el usuario quien lo asume.

Por otro lado, el costo de operación corresponde al costo de compra de los combustibles y mantenimiento de las cocinas luego de instalarlas. Las actividades de mantenimiento y reparación son intrínsecas a cualquier programa cuyo objetivo es lograr impactos durables. Generalmente, el costo de operación es asumido por completo por las familias que adoptan la tecnología. Por ello, se recomienda no olvidar la importancia del costo de operación de una nueva tecnología, especialmente cuando la población objetivo vive en zonas rurales en situación de pobreza y sus ingresos son bajos.



8.3 Costos de reducción por tonelada de CCVC

Se recomienda que cada país trabaje para generar información nacional con respecto a los CCVC, y se puedan ir generando políticas que ayuden al trabajo conjunto para reducir las emisiones. Además, para

futuros análisis en la región, sería ideal que se llegue a un acuerdo para homogenizar las unidades de los factores de emisión e ir monitoreando el avance como región.



9. Limitaciones del estudio

9.1 Reducción de emisiones de CCVC

Entre las principales dificultades que se presentó al elaborar el presente estudio está la poca información disponible en torno al tema desarrollado. Por ello, para los tres países, se escogió trabajar con los datos de consumo y eficiencia de los programas donde se realizó un monitoreo de uso y consumo de leña, los cuales son fiables ya que están basados en pruebas de campo Kitchen Performance Test. Sin embargo, estos datos no son representativos de cada país, sino de las regiones/estados donde se llevaron a cabo estos proyectos y de las estrategias de difusión escogidas por los actores correspondientes. Entonces, si bien es difícil evaluar a nivel nacional la eficiencia de las CM instaladas ya que puede variar con el tiempo según los tipos y condiciones de los modelos implementados, lo que parece más factible es medir y definir a nivel de cada país un valor oficial del consumo promedio de leña para familias rurales que usan fogón abierto para cocinar.

Se escogieron tres países para poder analizar la relación de los CCVC y cocción rural en América Latina. De dichos países muestra, Colombia no define aún los factores de emisión para CCVC; en cambio, Perú ya inició el proceso con un inventario de emisiones de CCVC; mientras que, México se encuentra actualizando el SNAP que presentaron en el 2013, y afinando factores de emisión propios de su país a través de investigaciones. Para el caso de Perú, no existían estudios específicos para los modelos que se utilizan, por lo que se tomaron como referencia, para los factores de emisión, estudios de diferentes lugares a nivel mundial. Cabe señalar que las CM implementadas en Latinoamérica, en particular las que cuentan con una chimenea y plancha, tienen características propias que no están reflejadas en los estudios de investigación internacionales. Por lo tanto, parece necesario afinar estos parámetros, en base -por ejemplo- a

los estudios recientes realizados en México por el Laboratorio de Innovación y Evaluación de Estufas de Biomasa (LINEB) de la UNAM, para que los resultados sean representativos de la región.

En este estudio se calcularon las emisiones de CCVC generadas por la combustión de cada combustible, no se realizó un análisis de ciclo de vida de los combustibles ya que esto estaba fuera del alcance de este análisis. Sin embargo, sería interesante

poder evaluar en otra investigación las emisiones de CCVC relacionadas, en particular, a la producción y distribución del GLP ya que, siendo un combustible fósil, requiere actividades de extracción, refinado y transporte para poder ser utilizado. Además, se recomienda medir la contaminación correspondiente con el fin de brindar una idea más clara de las emisiones totales de CCVC causadas por este combustible.

9.2 Costos de implementación y operación

En Colombia, se escogió trabajar con los costos de implementación de CM publicados en documentos oficiales para diferentes modelos de cocinas. Sin embargo, no se contaba con costos de mantenimiento. Para el modelo que se plantea en este estudio, el costo de mantenimiento en una CM se refiere al cambio de piezas, y el costo de estas piezas puede variar desde US\$ 1,5 a 25³⁷. Sin embargo, al no contar con suficientes fuentes de información para contrastar, se decidió trabajar con un porcentaje del costo de implementación obtenido en los otros países. Si se obtuviera el costo real de mantenimiento, es posible que los costos totales correspondientes al escenario 2 hubieran resultado ser menores.

Dentro del análisis de costos no se incluye el tiempo de vida de las cocinas, sino que se asume que éstas al tener un mantenimiento anual pueden llegar a funcionar durante todo el período de evaluación (2018-2030). En Perú ha sido demostrado por las CM certificadas en el marco del programa Qori Q'oncha, que la tecnología puede tener una duración de vida de 10 años con un mantenimiento y reemplazo de piezas adecuado. Para las cocinas a gas, se estimó que duren aproximadamente 10 años, por lo que se asumió como mantenimiento un costo de depreciación anual de 10%. Por falta de información oficial en los países, no se pudo afinar esta hipótesis. Es posible que para las cocinas a GLP los costos

totales se eleven ya que es casi seguro que habría que hacer un reemplazo de la cocina antes del final del periodo en estudio.

El precio del GLP ha sido considerado como fijo durante el tiempo de evaluación del estudio (2018-2030). Sin embargo, se necesitaría adaptarlo conociendo la volatilidad del precio de los hidrocarburos, ya que dependen del mercado internacional. Además, el costo del GLP utilizado en el estudio corresponde al precio oficial establecido en algunas localidades de cada país para incluir el costo de distribución hasta las zonas alejadas (zonas rurales), mas no se presenta un costo promedio oficial para las zonas rurales representativo para cada país. Sin embargo, en los programas donde se promueve el consumo de GLP en zonas rurales, el costo de este combustible está a menudo subvencionado y este apoyo puede cubrir el costo de transporte hasta las zonas rurales. Aunque, debido a la incertidumbre de la economía mundial, esta subvención no se puede asegurar en el largo plazo, ya que el precio se puede elevar y/o la subvención puede retirarse por algún otro motivo, lo que elevaría los costos de uso de una cocina de GLP, y sería más difícil su adopción. Se recomienda realizar un análisis más específico con respecto a la incertidumbre del precio del GLP en cada país para poder afinar los resultados de los escenarios 1 y 3.

³⁷ Consulta a Patrimonio Natural (2018).



Andadari, R., Mulder, P., Rietveld, P. 2014. Energy poverty reduction by fuel switching. Impact evaluation of the LPG conversion program in Indonesia. *Energy Policy* 66, 436–449.

Aristizábal, J. 2014. Validación y evaluación comparativa de la eficiencia de una estufa de leña mejorada bajo condiciones controladas y prueba de campo. Colombia. 13 p.

Berrueta, V; Edwards, R; Masera, O. 2008. Energy performance of wood-burning cookstoves in Michoacan, Mexico. *Renewable Energy* 33 (2008) 859–870.

Berrueta, V. 2017. Avances sobre la creación de la Norma Mexicana de estufas de leña y propuesta de Certificación. Diagnóstico Participativo: Uso residencial de energía y Estufas mejoradas. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático – INECC, MX.

Bond, T.C., Doherty, S.J., Fahey, D.W., Forster, P.M., Berntsen, T., DeAngelo, B.J., et al. 2013. Bounding the role of black carbon in the climate system: a scientific assessment. *Journal of Geophysical Research, Atmospheres*, Vol. 118 (11), 5380-5552.

CCAL (Coalición Clima y Aire Limpio, FR). 2014. Time to act to reduce Short-Lived Climate Pollutants. United Nations Environment Programme. Segunda edición. 48 p.

CCAL (Coalición Clime y Aire Limpio, FR). 2015. Comunicado de París (en línea). Asamblea de Alto Nivel. Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

CCENERGIA (Cámara Colombiana de la Energía, CL). 2018. Canasta de energéticos colombianos. Precios enero 08 de 2018. Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

Colectivo de Acceso Básico a la Energía. 2017. Regulación y acceso a la energía con energías renovables. GIZ. Primera edición. Lima/Perú. 57 p.

Contactar (Corporación Nariño Empresa y Futuro, CL) 2018. Crédito con su planeta Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

CRE (Comisión Reguladora de Energía, MX). 2017. Precios al público de gas LP reportados por los distribuidores. Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, CL). 2014. Censo Nacional Agropecuario. Tercera entrega de resultados 2014 (en línea). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, CL). Archivo de Estimación y proyección de población nacional, departamental y municipal total por área 1985- 2020. Consultado 20 de marzo de 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

Díaz-Jiménez. 2000. Consumo de Leña en el Sector Residencial de México. Evolución Histórica y Emisiones de CO₂. Tesis Mag Sc. México D.F, MX, UNAM. P 113.

Fundación Natura. 2015. Estufas eficientes de leña como contribución al mejoramiento de la calidad de vida, al uso eficiente de energía y la reducción de emisiones de GEI en áreas rurales de Antioquía y Santander, Colombia: Documento de sistematización y Suplemento técnico. Gómez, R; Aristizábal, J; Cárdenas, L. Bogotá. Colombia. 130 p.

GACC a (Global Alliance for Clean Cookstoves, US). 2012. Peru Market Assessment: Sector Mapping (en línea). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE QUÍ](#)

GACC b (Global Alliance for Clean Cookstoves, US). 2012. Colombia Market Assessment – Colombia Sector mapping (en línea). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

GACC c (Global Alliance for Clean Cookstoves, US). 2012. Mexico Market Assessment – Colombia Sector mapping (en línea). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

GIRA (Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, MX). 2012. Escenarios de mitigación de gases de efecto invernadero, carbono negro y otros forzadores climáticos de vida corta, mediante el uso de biocombustibles sólidos. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. 227 p.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, PR). 2016. Informe Técnico: Evaluación de la Pobreza Monetaria 2007-2016 (en línea). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, CHE). 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis (en línea). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

Jeuland, M., Tan Soo, J. -S. 2016. Analyzing the costs and benefits of clean and improved cooking solutions (en línea). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

Larsen, B. 2016. Benefits and Cost of Cookstove Options for Household Air Pollution Control- Guatemala, Honduras and Nicaragua. Facilitado por Hugo Teni. Banco Mundial. 44 p.

Laurent, A. 2014. Standardism as government: voluntary carbon certification and the Peruvian cookstove sector. Tesis doctoral, Sciences-Po Paris.

Masera, O; Díaz, R; Berrueta, V. 2005. From cookstoves to cooking systems: The integrated program on sustainable households energy use in México. Energy for Sustainable Development: Special Issue on Clean Cookstoves 9 (1): 25-36.

MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, CL). 2015. Lineamientos para un programa nacional de estufas eficientes para cocción con leña. 48 p.

MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, CL). 2014. Resultados Encuesta Nacional de Estufas Eficientes (en línea). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

MinMinas (Ministerio de Minas y Energía, CL).2016. Plan de Acción Indicativo de eficiencia energética-PAI PROURE 2017-2022 (en línea). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

MinMinas (Ministerios de Minas y Energía, CL). s.f. Folleto La comunidad del cilindro (en línea). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

Molina Center for Strategic Studies in Energy and the Environment. 2013. Informe Final de Apoyo a la Iniciativa de Planificación Nacional sobre Contaminantes Climáticos de Vida Corta en México. Iniciativa CCAL SNAP. 199 p.

Moreno, A. 2018. Webinar: Avances en temas de cocción limpia. Red Latinoamericana y del Caribe de Cocinas Limpias (11/01/2018).

OIT (Organización Internacional del Trabajo, CH). 2012. Sector rural y desarrollo local en América Latina y el Caribe (en línea). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

OMS (Organización Mundial de la Salud, US). 2014. Burden of Disease from Household Air Pollution for 2012. World Health Organization, Geneva.

OMS (Organización Mundial de la Salud, US). 2015. Household energy database. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

OPECU (Organismo Peruano de Consumidores y Usuarios, PR). 2017. Precio de balón de gas doméstico de 10 kilos. Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

OPS (Organización Panamericana de la Salud, US). 2015. Calidad del aire de interiores (CAI). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, PR). 2015. Informe de Resultados Encuesta Residencial de Uso y Consumo de Energía- ERCUE 2014-2015. 79 p.

OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, PR). Consultado 26 de febrero de 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

Rehfuess, E. A., Puzzolo, E., Stanistreet, D., Pope, D., Bruce, N. G. 2016. Clean fuels for resource-poor settings: A systematic review of barriers and enablers to adoption and sustained use. *Environmental Research* (en línea). Vol. 146, 218–234. Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

Rosenthal, J., Balakrishnan, K., Bruce, N., Chambers, D., Graham, J., Jack, D., et al. 2017. Implementation science to accelerate clean cooking for public health (en línea). *Environmental Health Perspectives*, Vol. 125. Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

Ruiz-Mercado, I., Masera, O. 2015. Patterns of stove use in the context of fuel-device stacking: Rationale and implications. *EcoHealth*, Vol. 12, 42–56. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social, MX). 2018. Continúa el proyecto Sedesol-Sener para llevar gas LP a zonas vulnerables. Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

SENER (Secretaría de Energía, MX). 2012. Prospectiva del Mercado de Gas Licuado de Petróleo 2012-2026 (en línea). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

Stanistreet, D., Puzzolo, E., Bruce, N., Pope, D., Rehfuess, E. 2014. Factors influencing household uptake of improved solid fuel stoves in low- and middleincome countries: A qualitative systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(8), 8228–8250. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

Still, D., Bentson, S., Li, H. 2014. Results of laboratory testing of 15 cookstove designs in accordance with the ISO/IWA tiers of performance. *EcoHealth*, Vol. 12(1), 12–24. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

Thurber, M. C., Phadke, H., Nagavarapu, S., Shrimali, G., & Zerriffi, H. 2014. 'Oorja' in India: Assessing a large-scale commercial distribution of advanced biomass stoves to households. *Energy for Sustainable Development*, 19, 138-150.

Troncoso., K. 2018. Webinar: Calidad del Aire al Interior de las Viviendas. Red Latinoamericana y del Caribe de Cocinas Limpias (18/01/2018).

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, KE) and CCAL (Coalición Clima y Aire Limpio, FR). 2016. Integrated Assessment of Short-Lived Climate Pollutants in Latin America and the Caribbean: improving air quality while mitigating climate change. Summary for decision makers.

UNOPS (Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos, DK). 2014. Supervisión de la cadena de suministro y evaluación de la eficacia en la implementación del Programa de Sustitución de Cocinas a Kerosene y otros Combustibles Contaminantes por Gas Licuado de Petróleo.

UNOPS (Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos, DK). 2015. Asistencia Técnica al Ministerio de Energía y Minas para el Monitoreo y Evaluación del Programa de Sustitución de Cocinas Tradicionales por Cocinas Mejoradas a Leña – Informe Final, PR. 80 p.

UPME (Unidad de Planeación Minero Energética, CL). 2006. La cadena del gas licuado de petróleo en Colombia - Experiencias de Programa de gas para el campo (en línea). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

UPME (Unidad de Planeación Minero Energética, CL). 2017. Cadena del gas licuado de petróleo (en línea). Consultado 20 de ene. 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)

Van der Kroon, B., Brouwer, R., van Beukering, P.J.H. 2013. The energy ladder: theoretical myth or empirical truth? Results from a meta-analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 504–513.

Vida Gas (CL). Precios minoristas actualizada 2017. Consultado 19 de febrero de 2018. [DISPONIBLE AQUÍ](#)



