

Proyecto – Cocinas Limpias en zona rural de Pacho (Cundinamarca)

Estudiante,

Laura Daniela Guevara Hernández

Dirigido por:

Tutores del diplomado

Universidad Santo Tomás

Febrero, 2026

Tabla de contenido

Datos Iniciales.....	10
Actores, Derechos y Gobernanza.....	15
Propietarios y/o usuarios del recurso (tierra/biomasa/energía)	15
Prueba de derechos y consentimiento.....	16
Estructura de gobernanza.....	18
Arreglos de reparto de beneficios	20
Convocatoria y trabajo con las cocineras del hogar	22
Elegibilidad y Límites del Proyecto.....	24
Razonamiento de elegibilidad según Estándar/Metodología.....	24
Límites geográficos, temporales y de carbono	27
Límite geográfico.....	27
Límite temporal.....	27
Límite de carbono	28
Línea de tiempo de referencia.....	29
Adicionalidad.....	31
Prueba de adicionalidad.....	31
Evaluación de barreras.....	34
Barreras técnicas	34
Barreras financieras.....	34
Barreras institucionales	35
Barreras sociales y de comportamiento	35
Escenario Contrafactual.....	36
Determinación de la Línea Base	40
Alcance y naturaleza metodológica de la línea base	40

Descripción del escenario de referencia y supuestos estructurales	41
Parámetros técnicos y supuestos de conversión energética.....	42
Comparación entre escenario sin proyecto y con proyecto	43
Estimación anual ex ante de reducciones	43
Representatividad, robustez e incertidumbre.....	44
Cálculo detallado de emisiones con desarrollo matemático completo	44
Fundamento metodológico del cálculo	44
Definición formal de variables.....	45
Cálculo del factor de emisión neto.....	45
Emisiones anuales del escenario sin proyecto	46
Cálculo del consumo evitado	46
Reducción anual de emisiones	47
Desarrollo por rampa operativa.....	47
Incorporación de incertidumbre	48
Proyección acumulada del periodo crediticio	48
Sensibilidad de parámetros dominantes.....	48
Consideraciones finales del cálculo	49
Diseño de la Actividad del Proyecto.....	50
Enfoque general y objetivos operativos.....	50
Fases secuenciales de implementación.....	50
Fase 1 – Preparación y diagnóstico territorial.....	50
Fase 2 – Preinstalación y diagnóstico técnico domiciliario	51
Fase 3 – Instalación técnica y registro georreferenciado	52
Fase 4 – Capacitación, adopción y apropiación tecnológica	52
Fase 5 – Seguimiento, monitoreo y mejora continua.....	53

Infraestructura técnica y logística.....	53
Estratificación y diseño muestral.....	54
Gestión de calidad (QA/QC)	54
Cronograma de implementación.....	55
Análisis financiero simplificado y factibilidad económica	58
Costo unitario real de la estufa instalada	58
Costo total del proyecto (1.000 hogares)	59
Costos del sistema MRV.....	59
Inversión total estimada del proyecto	60
Flujo de caja simplificado a 7 años.....	60
Punto de equilibrio.....	61
Comparación con ingreso rural promedio.....	61
Metodología de Cuantificación de GEI	63
Fundamento metodológico y alcance de la estimación	63
Delimitación de límites del proyecto y reservorios	63
Ecuación general de cuantificación	64
Supuestos ex ante adoptados	65
Cálculo anual detallado.....	65
Tratamiento de incertidumbre y conservadurismo	66
Proyección al periodo crediticio	67
Análisis de sensibilidad	67
Discusión crítica de los resultados de reducción de emisiones	68
Magnitud ambiental y relevancia climática	69
Coherencia metodológica y trazabilidad matemática	70
Parámetros críticos y control del fenómeno de stacking	71

Viabilidad operativa y perspectiva de mercado	72
Valor económico potencial de las reducciones de emisiones	73
Cálculo del ingreso bruto potencial acumulado	73
Comparación con la inversión total del proyecto.....	74
Precio de equilibrio en pesos colombianos	75
Análisis de sensibilidad frente al precio del carbono.....	75
Consideraciones estratégicas de mercado	76
Plan de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV)	77
Objetivo del MRV	77
Parámetros a monitorear	77
a) Variables energéticas y ambientales	77
b) Variables de uso tecnológico.....	77
c) Variables sociales complementarias	78
d) Variables administrativas.....	78
Procedimientos de monitoreo	78
Actualización de listado de hogares.....	78
Campañas KPT (Kitchen Performance Test).....	78
Sensores de uso (SUMs)	79
Encuestas estructuradas.....	79
Instrumentos utilizados.....	80
Gestión y almacenamiento de datos	80
Procedimiento de reporte.....	81
Procedimiento de verificación externa	81
Control de calidad y auditoría interna (QA/QC)	82
Indicadores Sociales y de Desarrollo Sostenible	83

Identificación de impactos sociales potenciales	83
Línea base social (carácter referencial ex ante)	83
Definición técnica de indicadores sociales	84
Metas cuantificables ex ante	86
Relación estructurada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	86
Sistema de seguimiento social	87
Salvaguardas sociales	87
Gestión Legal y Anti-doble Contabilidad	88
Títulos y autorizaciones	88
Declaraciones de exclusividad y no doble contabilización	89
Consideraciones Art. 6	90
Plan Comercial y Estrategia de Mercado	91
Programa de emisión (vintages), expectativa de precio y canal (voluntario)	91
Riesgos de mercado	92
Seguro y garantías	92
Alineación con buyer claims (VCMI)	93
Plan de Trabajo y Presupuesto	94
Cronograma (tipo Gantt) y roles	94
Roles:	96
Presupuesto indicativo por componente	96
Tabla de Cuantificación (ex ante / ex post)	101
Nota metodológica	102
Análisis de Riesgos del Proyecto	103
Riesgos metodológicos	103
Subestimación del consumo base (FC_{BL})	103

Sobreestimación de la fracción desplazada (f_d).....	103
Error en el cálculo de la fracción no renovable (f_{NRB})	104
Sesgos de muestreo	104
Fallas en sensores de uso (SUMs)	104
Riesgos operativos.....	105
Abandono tecnológico	105
Fallas técnicas	105
Baja adopción real.....	105
Riesgos financieros.....	105
Caída del precio del carbono.....	105
Costos MRV superiores a lo proyectado	106
Consolidación de riesgos	106
Glosario de parámetros	108
Referencias.....	118

Índice de Tabla

Tabla 1. Lista de verificación de elegibilidad del proyecto de cocinas limpias conforme a Gold Standard – TPDDTEC	26
Tabla 2. Análisis estructurado de adicionalidad conforme a estándares internacionales de proyectos de mitigación	32
Tabla 3. Caracterización inicial del proyecto y supuestos de planeación ex ante	42
Tabla 4. Comparación entre línea base y escenario con proyecto	43
Tabla 5. Estimación anual ex ante	43
Tabla 6. Cronograma de ejecución	55
Tabla 7. Estructura de costo unitario por estufa instalada	58
Tabla 8. Costos estimados de MRV (7 años).....	59
Tabla 9. Flujo simplificado acumulado	60
Tabla 10. Reservorios y flujos incluidos/excluidos	64
Tabla 11. Reducciones de emisiones acumuladas ex ante (7 años).....	66
Tabla 12. Escenarios evaluados	67
Tabla 13. Resultados acumulados a 7 años.....	67
Tabla 14. Valor económico potencial acumulado (7 años).....	74
Tabla 15. Porcentaje de cobertura de inversión mediante ingresos de carbono	74
Tabla 16. Sensibilidad del ingreso acumulado frente a variación del precio.....	75
Tabla 17. Frecuencia consolidada de medición	80

Tabla 18. Matriz de indicadores sociales y ODS asociados	85
Tabla 19. Cronograma tipo Gantt (T = trimestre).....	95
Tabla 20. Presupuesto por componente y por año (USD)	97
Tabla 21. Indicadores de costo.....	98
Tabla 22. Parámetros generales y supuestos ex ante para la determinación de la línea base y cuantificación de GE.....	99
Tabla 23. Determinación de parámetros técnicos de la línea base energética y de emisiones	100
Tabla 24. Estimación anual ex ante de reducciones de emisiones de GEI mediante la ecuación ER_{γ}	101
Tabla 25. Matriz de riesgos del proyecto.....	106
Tabla 26. Glosario y parámetros.....	108

Datos Iniciales

Título del Proyecto:

Cocinas Limpias en zona rural de Pacho (Cundinamarca), Reducción de emisiones por sustitución de biomasa

Estándar y Metodología aplicable,

Gold Standard – TPDDTEC con herramientas y guías de muestreo/biomasa de AMS-II.G / AMS-I.E y TOOL30 fNRB para coherencia metodológica (UNFCCC, 2022).

Ubicación (País/Departamento/Municipio/Coordenadas/CRS),

Colombia / Cundinamarca / Pacho (zona rural dispersa). Centroide de referencia, 5.1370° N, -74.1590° O, CRS, WGS84 EPSG,4326.

Criterios para la selección del área de intervención,

La selección de la zona rural del municipio de Pacho (Cundinamarca) responde a criterios de pertinencia territorial, social y ambiental. En este municipio persiste un uso significativo de biomasa tradicional para la cocción de alimentos en hogares rurales dispersos, asociados tanto a prácticas culturales como a limitaciones en el acceso continuo a combustibles modernos. Esta realidad convierte al territorio en un escenario representativo y relevante para el análisis de proyectos de cocinas limpias orientados a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, la ruralidad dispersa de Pacho y su dinámica proactiva agrícola permiten observar de manera clara fenómenos como el uso apilado de combustibles, las barreras sociales a la adopción tecnológicas y la relación entre eficiencia energética, tiempo doméstico y bienestar familiar, ya que, estas características hacen que el municipio sea contexto pertinente para el diseño y evaluación de proyectos alineados con estándares como Gold Standard-TPDDTEC garantizando coherencia entre el enfoque metodológico y realidad territorial.

Resumen Ejecutivo

El presente proyecto se formula como una propuesta técnica aplicada orientada a la mitigación del cambio climático en el sector residencial rural, mediante la reducción del consumo de biomasa sólida para cocción en hogares del municipio de Pacho, Cundinamarca. Desde una perspectiva metodológica, el estudio adopta un enfoque cuantitativo para la estimación de reducciones de gases de efecto invernadero (GEI), complementado con un análisis descriptivo de impactos sociales y de factibilidad económica. La intervención propone la adopción progresiva de estufas mejoradas de biomasa con chimenea (Improved Cookstoves – ICS), acompañadas de un sistema estructurado de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV), alineado con los lineamientos del estándar Gold Standard – TPDDTEC (Gold Standard, 2021). La unidad contable del proyecto corresponde a toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2e}) evitadas como resultado del menor consumo de leña y de la sustitución de la fracción no renovable de la biomasa, con seguimiento anual y verificaciones periódicas conforme a las metodologías aplicables (UNFCCC, 2022).

El ámbito geográfico comprende veredas rurales del municipio de Pacho, localizado aproximadamente en las coordenadas 5.1370° N, -74.1590° O (WGS84/EPSSG:4326). En esta zona persiste el uso de fogones tradicionales a leña como principal tecnología de cocción, situación coherente con las estadísticas nacionales que evidencian la continuidad del uso de biomasa en áreas rurales dispersas (DANE, 2023). Con base en que, este contexto justifica la definición de una línea base de cocción tradicional caracterizada por consumos relevantes de leña, presencia de uso simultáneo de tecnologías (stacking) y emisiones asociadas de CO₂, CH₄ y N₂O. La intervención, por tanto, se estructura sobre una necesidad real y verificable, tanto desde la dimensión energética como ambiental y social.

En términos operativos, el proyecto contempla cinco componentes principales: (i) identificación y selección de hogares beneficiarios; (ii) instalación de estufas mejoradas validadas técnicamente; (iii) capacitación práctica en uso seguro, eficiente y mantenimiento básico; (iv) servicio posventa con visitas técnicas programadas y disponibilidad de repuestos críticos; y (v) operación de un sistema MRV robusto. La gobernanza local se articulará con líderes comunitarios y Juntas de Acción Comunal, quienes apoyarán la programación de mantenimientos, el registro de novedades y la gestión de un canal documentado de quejas y sugerencias, en coherencia con las salvaguardas sociales y ambientales del estándar adoptado (Gold Standard, 2021). Con base en que, este enfoque participativo busca fortalecer la apropiación tecnológica y reducir el riesgo de abandono.

El sistema MRV se fundamenta en la triangulación de tres herramientas técnicas complementarias, por lo que se aplicarán pruebas de desempeño de cocina (Kitchen Performance Test – KPT) de tres días para medir el consumo real de leña por hogar, mediante pesaje antes y después del uso. En segundo lugar, se instalarán sensores de uso (Stove Use Monitors – SUMs) en una muestra rotativa de estufas, con el fin de registrar curvas de temperatura y verificar la frecuencia y duración del uso efectivo. Por otro lado, se aplicarán encuestas estructuradas para documentar tecnologías presentes, frecuencia de uso, mantenimiento y satisfacción de los hogares. El uso de formularios digitales con registro fotográfico, sellos de tiempo y controles de calidad permitirá reducir errores de medición y fortalecer la trazabilidad de la información, conforme a protocolos validados para proyectos de cocción limpia (ISO, 2019); (UNFCCC, 2021).

El diseño muestral adoptará un esquema estratificado por tipo de tecnología, tamaño del hogar y condiciones de acceso a combustibles, seleccionando un panel de seguimiento con

criterios de reemplazo previamente documentados. La rotación de sensores y la repetición semestral de campañas KPT permitirán mejorar la precisión estadística y reducir la incertidumbre en los parámetros críticos, especialmente el consumo base de leña (FC_BL) y la fracción desplazada (f_d). Por ello, este enfoque responde al principio de prudencia metodológica evitando sobreestimaciones y asegurando coherencia con la metodología AMS-II.G (UNFCCC, 2022).

La estimación ex ante proyecta un rango preliminar de reducción entre 500 y 2.500 tCO₂e por año para una cobertura de hasta 1.000 hogares, equivalente a 0,5–2,5 tCO₂e por hogar·año, dependiendo del patrón de uso, eficiencia real observada y valor regional de la fracción no renovable de la biomasa (fNRB), calculada mediante la herramienta TOOL30 (UNFCCC, 2020). En un escenario base de siete años, el proyecto podría alcanzar reducciones acumuladas cercanas a 9.400 tCO₂e, magnitud consistente con intervenciones comunitarias de escala similar.

Desde la perspectiva económica, el análisis de factibilidad indica que el costo unitario estimado de una estufa instalada es cercano a 1.000.000 COP por hogar, ya que, considerando que el ingreso rural promedio mensual en Cundinamarca se sitúa aproximadamente entre 900.000 y 1.200.000 COP (DANE, 2023), el costo de la estufa representa entre el 83 % y el 111 % del ingreso mensual promedio. Cabe destacar que, esta relación evidencia que la adopción sin mecanismos de apoyo financiero sería limitada, lo cual refuerza la necesidad de esquemas de cofinanciación. Los ingresos potenciales derivados de la comercialización de reducciones de emisiones podrían cubrir entre el 11 % y el 19 % de la inversión total proyectada, confirmando que el mercado voluntario de carbono constituye un mecanismo complementario, mas no suficiente por sí solo para garantizar la sostenibilidad financiera.

Finalmente, el proyecto incorpora co-beneficios alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente ODS 7 (energía asequible y no contaminante), ODS 3 (salud y bienestar), ODS 5 (igualdad de género) y ODS 13 (acción por el clima). Por lo que, se espera una reducción en la exposición a humo intradomiciliario, ahorro de tiempo en recolección de leña (actividad frecuentemente asumida por mujeres y adolescentes) y mejora en la seguridad al cocinar. Ahora bien, más allá de la mitigación climática, la propuesta integra dimensiones ambientales, sociales y económicas, configurándose como una alternativa técnicamente sólida y metodológicamente consistente para la transición hacia soluciones de cocción más limpias en el ámbito rural.

Actores, Derechos y Gobernanza

Propietarios y/o usuarios del recurso (tierra/biomasa/energía)

El proyecto se ubica en veredas rurales del municipio de Pacho (Cundinamarca) y se centra en hogares que actualmente cocinan con leña. En este contexto, los propietarios del recurso tierra pueden ser familias con título formal, poseedores con tradición de ocupación o arrendatarios de predios rurales. También existen usuarios del recurso biomasa que no necesariamente son dueños del terreno donde recolectan la leña, recolectan en sus fincas, en linderos, o en áreas de uso comunitario con acuerdos informales entre vecinos, algo común en zonas rurales de Colombia (MinAmbiente, 2018).

El recurso biomasa proviene de podas agrícolas, residuos de aserrío, cercas vivas o recolección de ramas en potreros y bosques secundarios. La leña puede ser de patio (de árboles en el predio) o de fuentes cercanas donde median relaciones vecinales y permisos verbales. Algunas familias alternan con GLP en temporadas de lluvia o cuando hay mayor disponibilidad de ingresos, lo que se conoce como uso apilado (stacking), una práctica que se preverá en el monitoreo y en la cuantificación del ahorro real de combustible (ISO, 2019).

En cuanto a la energía para la cocción, hoy depende principalmente del poder calorífico de la leña y del tiempo de combustión en fogones tradicionales. La unidad de proyecto es el hogar con una estufa mejorada instalada y en uso. El beneficiario directo es quien decide qué, cuándo y cómo cocinar, por eso el proyecto debe adaptarse a costumbres culinarias, estructuras familiares y tiempos agrícolas, para que la tecnología tenga sentido práctico en la vida cotidiana (World Bank/ESMAP, 2020).

A nivel comunitario, hay actores sociales clave, líderes veredales, juntas de acción comunal (JAC), asociaciones de mujeres y grupos productivos (por ejemplo, de café o panela).

Estos actores pueden facilitar el diálogo con los hogares, organizar listados de interés y ayudar a programar talleres de uso y seguridad. La articulación con la Alcaldía y la CAR (autoridad ambiental regional) es importante para alinear mensajes de educación ambiental y para la validación del enfoque de no presión adicional sobre la biomasa local (UPME, 2015).

También intervienen actores técnicos, el proyecto (coordinación, social, campo y datos), proveedores de estufas y repuestos, y eventualmente una entidad que realice auditorías internas de calidad. En la verificación externa, entra un auditor independiente que revisa la coherencia metodológica, los datos y la trazabilidad. Esta estructura de actores permite cubrir la cadena completa, desde la familia que usa la estufa hasta el aseguramiento de los reportes anuales (Gold Standard, 2021).

Por último, la dimensión de género es relevante, en muchos hogares, las mujeres son quienes gestionan la cocina y asumen los riesgos de exposición al humo. Incluir su voz desde el inicio mejora la pertinencia del diseño (altura de plancha, tamaño de ollas) y la sostenibilidad del cambio. Este enfoque, además de ser justo, fortalece el vínculo entre el proyecto y metas de salud, tiempo y seguridad dentro del hogar (OMS, 2021).

Prueba de derechos y consentimiento

Al ser un proyecto teórico con aspiración a estándares internacionales, se delineará un paquete de evidencias para demostrar que cada instalación tiene las autorizaciones necesarias. En lo predial, el hogar beneficiario presentará copia del título de propiedad, certificado de tradición o, en su defecto, una declaración de posesión aceptada por la JAC o por autoridad local, de acuerdo con la práctica social legítima cuando no existen escrituras recientes. Esta flexibilidad es usual en proyectos rurales siempre que exista consentimiento libre e informado y que no haya conflictos por el uso del espacio (IFC, 2012).

Para el uso de la biomasa, el proyecto no promueve mayor extracción, sino eficiencia y sustitución del fogón ineficiente. Aun así, se documentarán acuerdos de uso (formales o comunitarios) cuando la leña provenga de fuentes externas al predio. El formato de consentimiento incluirá un apartado específico donde el hogar declara que la leña utilizada no infringe normas de aprovechamiento, y que, de ser necesario, presentará autorizaciones de la autoridad ambiental o los acuerdos comunitarios correspondientes (MinAmbiente, 2018).

En datos y monitoreo, el consentimiento debe ser explícito y claro. El hogar aceptará la instalación de sensores de uso (SUMs) y la realización de KPT de 3 días, encuestas cortas y visitas de verificación. Se informará que los sensores registran patrones térmicos, pero no audio ni imagen, y que los datos se tratan con identificadores anónimos en plataformas seguras. La familia podrá retirar su consentimiento en cualquier momento, lo que implicaría excluir su hogar de los análisis, sin pérdida de beneficios adquiridos (ISO, 2019).

Se firmará un Acuerdo de Instalación y Uso entre el hogar y el proyecto. El acuerdo cubrirá, (a) capacitación mínima, (b) pautas de seguridad, (c) uso apropiado (no quemar plásticos ni residuos peligrosos), (d) acceso del equipo técnico para mantenimiento y monitoreo, y (e) responsabilidad de reportar daños o fallas. Para comunidades indígenas o afrodescendientes, si existieran en el área, se activará un protocolo específico de consulta culturalmente adecuada y consentimiento colectivo, respetando sus usos y autoridades (IFC, 2012).

Los proveedores firmarán contratos con cláusulas de garantía, suministro de repuestos críticos y tiempos de respuesta. El proyecto conservará fichas técnicas y certificados de calidad. Todo esto se integra a un expediente digital por hogar y por lote de equipos, con versiones de documentos, fotos georreferenciadas y firmas electrónicas cuando sea posible, asegurando trazabilidad para auditoría (Gold Standard, 2021).

Cuando un hogar no tenga documentos formales, se recurre a una constancia de la JAC y a testimonios de vecinos (dos firmas) que acrediten la posesión pacífica. En paralelo, se orienta a la familia sobre rutas institucionales para mejorar sus papeles. Lo importante es que no haya controversia por la instalación en la vivienda y que el consentimiento sea libre, previo e informado, principio clave en estándares sociales (IFC, 2012).

En las visitas iniciales, el equipo social verificará si hay restricciones, litigios de linderos, anuncios de venta del predio o conflictos comunitarios. Si se detecta una disputa, la instalación se pospone y se priorizan hogares sin conflicto. Esta prudencia reduce riesgos humanos y también protege la integridad del proyecto, pues evita futuros reclamos sobre la intervención realizada (MinAmbiente, 2018).

Por último, se define un procedimiento de retiro, si la familia decide salir del proyecto, se documenta la fecha, motivos y el estado de la estufa. Se evalúa si el equipo puede ser reasignado (con consentimiento) y actualiza las bases de datos. Este paso cuida el respeto a la decisión de cada hogar y mantiene el orden en el conteo de unidades y en los insumos para el cálculo de emisiones (Gold Standard, 2021).

Estructura de gobernanza

La gobernanza combina tres niveles, comunitario, operativo y de aseguramiento. En el nivel comunitario opera un Comité Veredal de Cocinas Limpias (CVCL), con representantes de las veredas participantes, mujeres usuarias y la JAC. Este comité decide sobre temas prácticos, priorización de hogares cuando la demanda supere la oferta, programación de talleres, cronogramas de visitas y alertas sobre estacionalidad agrícola. Sus decisiones constan en actas simples y se publican en carteleras o grupos locales (UPME, 2015).

En el nivel operativo, el Proyecto tiene cuatro frentes, (1) coordinación (cumplimiento del estándar y relación con auditores), (2) social (participación, consentimientos, quejas y enfoque de género), (3) técnico-campo (instalación, servicio y seguridad), y (4) datos/MRV (diseño muestral, SUMs, KPT, QA/QC y reportes). Cada frente tiene un responsable que rinde cuentas mensualmente al conjunto y prepara evidencias para auditoría (Gold Standard, 2021).

El tercer nivel es el de aseguramiento. Aquí se ubican, (a) auditor interno de calidad, que revisa procesos y datos antes del envío, y (b) verificador externo acreditado, que revisa el cumplimiento metodológico y la trazabilidad. Este nivel no decide sobre la selección de hogares, pero sí puede recomendar mejoras o acciones correctivas si encuentra desviaciones o faltantes (UNFCCC, 2021).

Para resolver conflictos, hay un Mecanismo de Quejas y Sugerencias. Se puede usar un número de teléfono, buzón físico en la JAC y un formulario digital sencillo. Las quejas se clasifican (técnicas, trato, tiempos, privacidad), se asigna un responsable y se da respuesta en plazos estándar (por ejemplo, 10 días hábiles). Si el hogar no está conforme, puede apelar ante el CVCL. La trazabilidad se asegura con folios y registros de cierre de cada caso (IFC, 2012).

Cuando hay conflictos entre vecinos (por ejemplo, por humo o turnos de atención), se convoca a una reunión de mediación facilitada por el equipo social y la JAC. Se busca un acuerdo razonable, privilegiando el buen clima comunitario. Si el conflicto escala y compromete la seguridad del equipo o de los usuarios, se suspende la intervención en la vereda hasta que se estabilice la situación, con reporte al verificador si afecta el cronograma (UPME, 2015).

La transparencia se cuida con tres instrumentos, (1) Actas de CVCL y reuniones clave, (2) Panel comunitario trimestral donde se comparten avances, números de instalaciones y resultados agregados de encuestas, y (3) Reporte anual en lenguaje claro sobre logros,

dificultades y próximos pasos. Esto ayuda a que la comunidad entienda que el proyecto no es entrega y olvido, sino un proceso acompañado y sujeto a evaluación (World Bank/ESMAP, 2020).

El criterio de priorización de hogares se pacta en la gobernanza comunitaria, se puede dar prioridad a familias con mayor exposición al humo (niños pequeños, adultos mayores), a mujeres cabeza de hogar o a quienes usan casi exclusivamente leña. El criterio debe ser conocido y estable, y cualquier ajuste se comunica y justifica en acta del CVCL. Así se evita la percepción de favoritismo y se refuerza la confianza (OMS, 2021).

En la toma de decisiones técnicas, se pondera la seguridad. Por ejemplo, si una cocina queda en un espacio sin ventilación, se propone reubicarla o instalar una chimenea de mayor sección. Ante la duda, se prefiere no instalar hasta lograr condiciones seguras. Estas decisiones, aunque a veces impopulares, evitan riesgos a la salud y mejoran la vida útil de la instalación (MinAmbiente, 2018).

Finalmente, se establece un plan de continuidad por si la coordinación cambia o si hay rotación del personal. Todo procedimiento tiene guía escrita, listas de chequeo y repositorio digital. Así, la gobernanza se basa menos en personas específicas y más en reglas claras, lo que protege al proyecto a lo largo de los años de monitoreo (Gold Standard, 2021).

Arreglos de reparto de beneficios

El reparto de beneficios se entiende como un conjunto de aportes que llegan al hogar, a la comunidad y al mantenimiento del sistema de monitoreo. A nivel del hogar, el beneficio principal es la propia estufa mejorada con su capacitación y el soporte posventa. También se generan beneficios indirectos como ahorro de tiempo, menor exposición al humo y seguridad.

Estos beneficios no dependen de créditos de carbono, se reciben por el hecho de participar y mantener la estufa en uso (OMS, 2021).

A nivel comunitario, el proyecto financia sesiones de educación en salud y seguridad, y apoya actividades colectivas de seguimiento, como la rotación de sensores o jornadas de mantenimiento. Se puede establecer un pequeño fondo comunitario para repuestos menores (perillas, sellos) administrado por la JAC con reglas simples y auditoría social. Este fondo se alimenta con una porción de los ingresos del proyecto o con aportes en especie de aliados (UPME, 2015).

El proyecto requiere cubrir costos de MRV (sensores, encuestas, procesamientos, auditorías) y capital de reposición (cambios de planchas, chimeneas). Por eso, otra porción de los recursos se reserva para sostener la calidad del sistema. Esta asignación no es un costo administrativo oculto, sino una inversión en la integridad de los datos, que a su vez respalda la credibilidad frente a auditores y a la comunidad (UNFCCC, 2021).

Si el proyecto llegara a emitir créditos de carbono bajo un estándar, se propondrá un esquema de distribución inicialmente indicativo y luego validado con la comunidad. Por ejemplo, un reparto que priorice hogares y MRV y, en tercer lugar, un fondo comunitario para mejoras. Las proporciones finales se acuerdan en talleres abiertos y se registran en actas del CVCL. Así se evita la percepción de opacidad y se promueve el sentido de copropiedad (Gold Standard, 2021).

Para que el reparto sea equitativo, se incluirán medidas de inclusión, lenguaje claro, horarios de reunión compatibles con jornadas agrícolas, y espacios seguros para la voz de las mujeres. Además, se compartirá semestralmente un informe comunitario con cifras de instalaciones, mantenimientos, quejas resueltas y asignaciones. Cuando un hogar sale del

proyecto, se explica el tratamiento de su caso y, si aplica, de los beneficios asociados (IFC, 2012).

En caso de daño o pérdida de la estufa por causas ajenas al hogar (por ejemplo, un defecto de fábrica), el reemplazo entra a la garantía del proveedor. Si el daño se debe a mal uso, el proyecto ofrece reparación a bajo costo y refuerza la capacitación. De este modo, el reparto de beneficios no se reduce a entregar equipos, sino que incluye soporte real, aprendizaje y cuidado de la inversión social (MinAmbiente, 2018).

Para prevenir captura de beneficios por actores no elegibles, se exige que cada hogar tenga su expediente con consentimiento, fotos y georreferencia. Las entregas se hacen preferentemente en sitio y se registra la instalación con coordenadas y número de serie. Estas prácticas garantizan que los beneficios lleguen a quien corresponde y que el conteo de unidades sea fidedigno (UNFCCC, 2021).

El resumen de reparto es, entonces, triple, (1) beneficios directos al hogar (equipo, capacitación, soporte), (2) beneficios comunitarios (fondo, jornadas, educación), y (3) sostenimiento del MRV y la calidad. Todo bajo reglas acordadas, informadas y con auditoría social. Con esto se consolidan incentivos para usar y cuidar las estufas, que es la clave del impacto en el tiempo (World Bank/ESMAP, 2020).

Convocatoria y trabajo con las cocineras del hogar

La entrada principal del proyecto son las personas que cocinan todos los días, que en estas veredas suelen ser mujeres adultas y, en algunos casos, hijas mayores o cuidadoras. La convocatoria se haría a través de la Junta de Acción Comunal (JAC) y de líderes veredales, anunciando reuniones abiertas en horarios que no choquen con las horas pico de cocina. En estas

reuniones se explicaría el objetivo del proyecto, se resolverían dudas y se pediría a las familias interesadas que se inscriban voluntariamente.

Además de estos espacios generales, el proyecto plantea visitas casa a casa para conocer las cocinas actuales, escuchar cómo cocina cada familia y revisar si hay condiciones mínimas de seguridad para instalar una estufa mejorada. La idea es que las primeras demostraciones se hagan en las mismas cocinas de las señoras, para que ellas puedan ver cómo se comporta la estufa con sus ollas, sus recetas y sus tiempos. Esto ayuda a que el cambio se perciba como algo cercano y no impuesto desde afuera.

El rol de la JAC es clave para organizar la lista de hogares, convocar a las reuniones y acompañar la priorización cuando la demanda sea mayor que la oferta de estufas. La JAC también puede apoyar la gestión de un pequeño fondo comunitario para repuestos menores y servir como punto de referencia para el mecanismo de quejas y sugerencias. Las inconformidades o comentarios que lleguen por reuniones, visitas o canales escritos se registrarán y se canalizarán al proyecto, que deberá dar respuesta en tiempos claros. Así, la participación de las cocineras, la JAC y el mecanismo de quejas quedan conectados y forman parte de la misma gobernanza.

Elegibilidad y Límites del Proyecto

Razonamiento de elegibilidad según Estándar/Metodología

El proyecto se enmarca en Gold Standard – TPDDTEC para tecnologías y prácticas que disminuyen el consumo térmico descentralizado. La actividad elegible es la difusión de estufas mejoradas de biomasa que sustituyen los fogones tradicionales de leña, generando reducciones de GEI por menor consumo y por reducción de la fracción no renovable de la biomasa (fNRB). Esta elegibilidad exige cumplir salvaguardas, demostrar adicionalidad y establecer un MRV consistente con el estándar (Gold Standard, 2021).

La metodología de referencia para eficiencia térmica con biomasa no renovable es AMS-II.G, y, cuando corresponda por sustitución tecnológica directa (por ejemplo, con GLP), puede utilizarse AMS-I.E. Ambas piden definir línea base, factor de emisión, fNRB y un muestreo confiable del consumo de combustible. También requieren reconocer stacking y aplicar descuentos de uso en caso de que la estufa mejorada no sea la única tecnología en el hogar (UNFCCC, 2022).

Para el fNRB, la herramienta TOOL30 guía el cálculo, se puede usar un valor país/área si está disponible o construir un valor con fuentes oficiales, considerando crecimiento de biomasa, demanda y restricciones de acceso. El proyecto reportará el enfoque adoptado con transparencia, y hará análisis de sensibilidad si existen rangos de fNRB. Este parámetro es crítico porque influye de forma importante en las tCO₂e evitadas (UNFCCC, 2020).

En adicionalidad, proyectos de pequeña escala pueden aplicar criterios simplificados, pero siempre es recomendable documentar barreras, costos iniciales para los hogares, aversión al cambio, limitada disponibilidad de repuestos y dificultades de mantenimiento. Se agregan evidencias de contexto local, prevalencia del uso de leña en el municipio y en veredas similares,

con soporte de estadísticas nacionales, para mostrar que el proyecto acelera un cambio que por sí solo tomaría más tiempo (DANE, 2023).

El proyecto también contribuye al desarrollo sostenible, salud respiratoria, ahorro de tiempo y seguridad en el hogar. Esto se alinea con ODS 3, 5, 7 y 13 y debe quedar explícito en la matriz de sostenibilidad que exige el estándar. La verificación pedirá indicadores claros, medibles y realistas, coherentes con la capacidad de recolección de datos en campo (OMS, 2021).

Todos los requisitos de salvaguarda se cumplen, consentimiento informado, consultas, no causar daño, gestión de quejas, protección de datos y, si aplica, protocolos culturalmente adecuados para comunidades étnicas. La no doble contabilidad se asegura con inventarios de instalaciones, georreferenciación y revisión cruzada de bases de datos públicas si existieran iniciativas similares en la zona (IFC, 2012).

El proyecto fija una fecha de inicio posterior a la adopción del estándar y documenta su periodo de acreditación. No se cuentan actividades previas no monitoreadas ni equipamientos instalados sin trazabilidad. Toda unidad incluida en el proyecto tiene número de serie, coordenadas, fotos y acta de instalación, lo que permite auditoría física y documental de forma aleatoria (UNFCCC, 2021).

En la siguiente tabla se presenta, de forma resumida, cómo el proyecto cumple los criterios básicos de elegibilidad para un proyecto de cocinas limpias bajo Gold Standard – TPDDTEC y metodologías tipo AMS-II.G/AMS-I.E. Esta tabla sirve como lista de chequeo y resume la justificación que se desarrolla en el texto del capítulo.

Tabla 1. Lista de verificación de elegibilidad del proyecto de cocinas limpias conforme a Gold Standard – TPDDTEC

Criterio de elegibilidad	Cómo lo cumple el proyecto	Evidencia / referencia interna
Uso térmico descentralizado	La actividad se centra en la cocción de alimentos en hogares rurales dispersos del municipio de Pacho. No son grandes instalaciones, sino cocinas familiares.	Encuestas de uso de combustibles y descripción del Cap. 1 y 2.
Combustible de línea base: biomasa	La línea base es el fogón tradicional a leña como tecnología principal. El uso de GLP es complementario y se considera como “stacking”.	Cap. 5 – Línea Base (escenario de referencia) y resultados esperados de KPT.
Proyecto de eficiencia/sustitución	Se introduce una estufa mejorada de biomasa con chimenea que reduce el consumo de leña para el mismo servicio de cocción.	Cap. 6 – Diseño de la actividad / descripción técnica.
Escala y tipo de proyecto	El proyecto se plantea para 1.000 hogares, dentro de los rangos típicos de proyectos de pequeña escala en cocinas limpias.	Definición de alcance en Cap. 1 y 3.
Adicionalidad (no es práctica común)	Cocinar con fogón de leña sigue siendo lo más común en las veredas, y las	Cap. 4 – Adicionalidad (práctica común) y datos de uso de combustibles.

	estufas mejoradas no están masivamente adoptadas.	
Cumplimiento regulatorio	No existe una norma que obligue a las familias a cambiar el fogón de leña por una estufa mejorada; las guías existentes son orientativas, no obligatorias.	Cap. 4 – Adicionalidad regulatoria y revisión de lineamientos nacionales.

Fuente: Elaboración propia

Límites geográficos, temporales y de carbono

Límite geográfico

El límite geográfico es un polígono que abarca varias veredas rurales de Pacho. Cada instalación se registra con coordenadas WGS84 (EPSG,4326) y forma parte del inventario de unidades. El mapa mostrará vías principales, centros poblados cercanos, escuelas y puestos de salud, principalmente para facilitar la logística de visitas y para que los actores locales visualicen el alcance del proyecto (UPME, 2015).

El polígono se acompañará de una zona de fuga contigua, donde se vigila si hay desplazamientos de la demanda de leña por efectos indirectos (por ejemplo, revender leña ahorrada hacia zonas cercanas). Aunque la evidencia suele mostrar fugas bajas en proyectos de cocción residencial, el estándar exige que se evalúen y, de ser necesario, que se estimen ajustes conservadores (Gold Standard, 2021).

Límite temporal

El periodo de acreditación propuesto es de siete años (2026–2033) con verificaciones periódicas y reportes anuales. La línea base se establece antes de la primera verificación, con campañas de KPT y encuestas que reflejen la situación sin proyecto. Las mediciones de uso con

SUMs y las encuestas de stacking se repiten según plan de monitoreo (por ejemplo, semestrales o anuales), con rotación de sensores para cubrir los estratos (UNFCCC, 2021).

Toda modificación relevante —cambio de modelo de estufa, ampliación del polígono o incorporación de nuevas veredas— se registra como cambio de diseño y se documenta su efecto en línea base y monitoreo. Si el proyecto se renueva después de siete años, deberá demostrar que la tecnología sigue operativa, que el uso se mantiene y que los parámetros clave (por ejemplo, fNRB) siguen siendo válidos o se han actualizado (Gold Standard, 2021).

Límite de carbono

El límite de carbono incluye las emisiones directas asociadas a la combustión de biomasa en la cocción doméstica, CO₂, CH₄ y N₂O. La reducción proviene de dos fuentes, (1) menor consumo de leña por mayor eficiencia, y (2) cuando aplique, sustitución hacia combustibles con menor intensidad de emisiones, todo medido en condiciones de uso real. La metodología permite convertir el consumo evitado en tCO₂e con factores de emisión y con el fNRB (UNFCCC, 2022).

Quedan excluidos los reservorios de biomasa (biomasa aérea y subterránea, suelo) porque el proyecto no es de uso del suelo ni de manejo forestal, no hay cambios en cobertura o existencias de carbono de bosques por causa directa de la actividad. También se excluyen emisiones de transporte menor (por ejemplo, motos del equipo técnico) cuando se consideran insignificantes, si no lo fueran, se pueden incluir con factores por defecto y método conservador (Gold Standard, 2021).

En fugas, se analizan dos tipos, desplazamiento de actividad (si la leña ahorrada alimenta otra demanda en la misma zona o en la zona de fuga) y mercado (si cambios de precios inducen mayor extracción en otra parte). La experiencia en cocción residencial sugiere que estas fugas

suelen ser bajas, pero no se asume, se vigilan con encuestas y, de marcar tendencia, se incorpora un descuento ex ante prudente (UNFCCC, 2021).

Para incertidumbre, se documenta el tratamiento estadístico en cada parámetro, consumo por KPT, uso por SUMs, factores de emisión y fNRB. El reporte presenta intervalos de confianza y, si hay parámetros dominantes en la varianza, se definen mejoras en el diseño muestral de la siguiente campaña. La meta es que la reducción reportada sea robusta y trazable a evidencia verificable (ISO, 2019).

Línea de tiempo de referencia

La línea de tiempo del proyecto se construye con hitos que permiten ubicar cómo era la situación de cocción antes de la intervención y cómo evoluciona. El primer hito es el año base (2025), cuando se levantan datos de contexto y se arma el diseño muestral. Aquí se recaban indicadores de uso de combustibles en la zona, apoyándose en estadísticas nacionales y en un muestreo local para robustecer la lectura territorial (DANE, 2023).

El segundo hito es la fecha de inicio del proyecto (2026), cuando se formaliza el polígono, se firman consentimientos y se lanzan las primeras instalaciones. Desde entonces, el proyecto es auditable. En paralelo, se identifica si hay programas previos de cocinas limpias en Pacho u otros que puedan superponerse. Si los hay, se evita doble conteo y se excluyen equipos anteriores sin trazabilidad (Gold Standard, 2021).

Respecto a deforestación, este proyecto no la aborda directamente, pero sí estima la fracción no renovable de la biomasa con TOOL30, que combina datos de crecimiento, demanda y accesibilidad. Como punto de referencia, se toma el año base para fijar los valores y actualizarlos cuando existan fuentes nuevas. La narrativa no asume que toda la leña es no renovable, justifica con datos el valor elegido para fNRB (UNFCCC, 2020).

En adopción tecnológica, el punto de corte es que las estufas tradicionales siguen siendo predominantes en las veredas del polígono. Se documenta con encuestas y observación directa la presencia de GLP u otras tecnologías y su frecuencia de uso. Con esto, la línea base refleja un escenario realista de stacking, y la cuantificación aplica descuentos por sustitución parcial, tal como recomiendan los protocolos (ISO, 2019).

Cada campaña de monitoreo (por ejemplo, semestral) se registra como un hito, instalación/retirada de sensores, hogares de la muestra, resultados de KPT y consistencia entre métodos. La línea de tiempo también refleja eventos externos que puedan afectar el uso, temporadas de lluvia, subidas del precio del GLP o programas públicos de energía. Se anota el hecho y se hacen análisis de sensibilidad si esos eventos generaron cambios de comportamiento (World Bank/ESMAP, 2020).

Al cierre de cada año de reporte, se consolidan resultados y se preparan acciones de mejora, ajustar tamaños de muestra, intensificar capacitación donde hubo más fallas, o reubicar equipos con problemas de ventilación. Esta retroalimentación entra en la siguiente fase, de modo que la línea de tiempo no es solo un registro, sino una ruta de aprendizaje del proyecto (UNFCCC, 2021).

Si después del primer periodo de acreditación se decide renovar, la línea de tiempo incluirá un capítulo de vida útil, cuántas estufas siguen operativas, cuántas fueron reemplazadas y cómo evoluciona la adopción. La experiencia indica que una parte del éxito depende de servicios posventa y de la posibilidad de conseguir repuestos. Por eso, el plan de continuidad se revisa cada año, con metas claras y realistas (MinAmbiente, 2018).

Adicionalidad

Prueba de adicionalidad

En Colombia no existe una norma que obligue a los hogares rurales a cambiar sus fogones tradicionales por estufas mejoradas, lo que hay son lineamientos y orientaciones técnicas, no mandatos exigibles a las familias. En concreto, las guías nacionales para estufas eficientes recomiendan buenas prácticas, pero no imponen su adopción ni establecen sanciones por seguir cocinando con leña en equipos rudimentarios. Por eso, si el proyecto no interviene, nadie está legalmente forzado a migrar a tecnologías más limpias, y la línea base se mantiene tal como se observa hoy (MinAmbiente, 2018).

En las veredas rurales de Pacho, y en general en el campo colombiano, la cocción con leña sigue siendo frecuente, con mezclas de uso según la época, el precio del GLP y las costumbres culinarias. Es decir, las estufas mejoradas no son todavía la práctica dominante, de hecho, cuando existen, es común que convivan con el fogón de siempre. Los datos nacionales sobre uso de combustibles en hogares confirman que la transición no es homogénea y que la leña conserva un peso importante en áreas rurales, lo que respalda que el proyecto no replica un comportamiento masivo ya consolidado (DANE, 2023).

El cambio tecnológico trae costos iniciales (compra de la estufa, chimenea, materiales de instalación) y costos de ciclo de vida (repuestos, mantenimiento, visitas técnicas). A eso se suma el costo del MRV, sensores de uso, encuestas y pruebas KPT, que no puede cubrir una familia rural por su cuenta. Sin un esquema de proyecto que agregue demanda, gestione compras, organice servicio posventa y financie el monitoreo, la adopción sería lenta, inconsistente y difícil de sostener en el tiempo (World Bank/ESMAP, 2020).

Por esto, no hay obligación regulatoria de adoptar la tecnología, la práctica común sigue siendo cocinar con leña, con stacking de combustibles según disponibilidad, y los costos (de equipos y de MRV) superan la capacidad típica de los hogares. En conjunto, estos elementos muestran que las reducciones que el proyecto busca alcanzar no ocurrirían a la misma escala y con la misma trazabilidad sin su implementación organizada y verificada (Gold Standard, 2021).

Resumen de la adicionalidad del proyecto

La siguiente tabla resume, de forma paso a paso, cómo se demuestra la adicionalidad del proyecto en cuatro dimensiones: regulatoria, práctica común, financiera y social/comportamental. Esto complementa la explicación narrativa de este capítulo.

Tabla 2. Análisis estructurado de adicionalidad conforme a estándares internacionales de proyectos de mitigación

Dimensión	Situación sin proyecto	Cómo demuestra adicionalidad
Regulatoria	No existe una ley que obligue a los hogares rurales de Pacho a cambiar sus fogones de leña por estufas mejoradas. Existen lineamientos y manuales técnicos, pero son orientativos.	El proyecto no está cumpliendo con un mandato legal, sino yendo más allá de lo que exige la normativa. Si no se implementara, los hogares podrían seguir usando sus fogones tradicionales sin infringir ninguna norma.
Práctica común	Lo habitual en las veredas es cocinar en fogón de leña, con algo de GLP según el ingreso y la temporada. Las estufas mejoradas no están difundidas de forma	El proyecto introduce una tecnología que hoy no es la práctica dominante. Por eso, no está simplemente “haciendo lo que todo el mundo ya hace”, sino

	masiva ni son la norma en la zona.	acelerando un cambio que no se ve de forma espontánea a gran escala.
Financiera	La compra e instalación de una estufa mejorada, más el mantenimiento y el monitoreo (KPT, encuestas, sensores), supera la capacidad financiera típica de un hogar rural o de una JAC por sí sola.	El proyecto organiza la financiación, la logística y el MRV. Sin esta estructura, las familias difícilmente podrían asumir el costo completo ni sostener el seguimiento necesario para cuantificar las reducciones de GEI.
Social y de comportamiento	Muchas personas valoran el sabor de la comida hecha en fogón de leña y están acostumbradas a su manera de cocinar. Los cambios de hábito requieren tiempo, acompañamiento y confianza en la nueva tecnología.	El proyecto incluye capacitación, demostraciones en las mismas cocinas, servicio posventa y un mecanismo de quejas. Esto ayuda a superar barreras sociales y de comportamiento que, sin este acompañamiento, harían que la adopción sostenida fuera poco probable.

Fuente: Elaboración propia

En conjunto, estos cuatro aspectos muestran que el proyecto no es obligatorio por regulación, no imita una práctica ya generalizada, no es fácilmente financiable por los hogares y requiere un trabajo social adicional. Por eso se considera que las reducciones de emisiones que genera son adicionales al escenario sin proyecto.

Evaluación de barreras

Barreras técnicas

La primera barrera es de adecuación, la estufa debe soportar ollas grandes, tiempos de cocción prolongados y recetas locales (sopas, sancochos, arepas), manteniendo tiraje y temperatura estables. Muchas fallas se dan por instalaciones sin una chimenea bien sellada, por ceniceros que se colmatan o por combustibles húmedos. También pesa la disponibilidad de repuestos (codos, planchas, aislantes) y la necesidad de un servicio capaz de llegar a veredas dispersas con respuesta rápida. Estas exigencias son conocidas en protocolos de campo para cocción limpia y deben considerarse en el diseño (ISO, 2019).

Otra barrera técnica es medir el uso real. Si solo se capacita e instala, pero no se mide con herramientas como SUMs o KPT, se subestima el stacking y se sobrestima el ahorro. La instalación de sensores con calendarios de descarga, más formularios con fotos y sellos de tiempo, requiere capacidades que no son triviales en equipos pequeños, y sin ellas la cuantificación de tCO₂e se vuelve frágil (Ruiz-Mercado et al., 2013).

Barreras financieras

Para un hogar rural, el costo total de una estufa mejorada completa (plancha, cámara de combustión, chimenea) puede competir con gastos urgentes del ciclo agrícola. Si el repuesto o la reparación fallan por precio o distancia, el hogar vuelve al fogón tradicional. A nivel de proyecto, los costos de MRV aumentan el presupuesto, pero son indispensables para tener datos creíbles ante auditores y para tomar decisiones internas. Sin economías de escala, los proveedores no sostienen stock de repuestos, lo que alarga tiempos de solución (World Bank/ESMAP, 2020).

Barreras institucionales

En muchos municipios, los programas sobre cocción eficiente han sido intermitentes y con poca estandarización de seguimiento. Hay rotación de personal y cambios de prioridades administrativas, lo que dificulta sostener servicios posventa y sistemas de quejas. Además, rara vez existen convenios que integren compras, capacitación y MRV bajo el mismo paraguas, de modo que cada actor hace una parte y se diluye la responsabilidad integral del ciclo de vida del equipo (UPME, 2015).

También hay barreras en la articulación con autoridades ambientales. Aunque el proyecto no promueve mayor extracción de biomasa, sí necesita mensajes coordinados sobre aprovechamiento responsable y educación ambiental. Cuando esa articulación falla, aparecen percepciones de riesgo o dudas sobre la legalidad de recolectar leña de patio o de podas, lo que puede frenar la participación de algunos hogares (MinAmbiente, 2018).

Barreras sociales y de comportamiento

La decisión cotidiana de cocinar no es solo técnica, entra la costumbre, el sabor asociado a la leña, la confianza, el rol de las mujeres en el hogar y el tiempo disponible para aprender usos nuevos. La evidencia en proyectos de cocinas limpias muestra que la adopción sostenida depende de entender estas motivaciones, de acompañar con visitas cortas y de atender frustraciones iniciales (humo en la primera semana, ajuste de tiraje, limpieza del ducto) (Puzzolo et al., 2016).

Otra barrera social es el stacking, aunque la estufa mejorada funcione, el hogar puede seguir encendiendo el fogón tradicional para ciertas recetas, épocas o visitas. En términos de emisiones, esto reduce el ahorro real y, si no se mide, lleva a sobreestimar las tCO_{2e}. Por eso el plan de MRV debe normalizar que el stacking existe y aprender a gestionar esa mezcla con educación y medición, no con regaños ni supuestos simplistas (ISO, 2019).

Escenario Contrafactual

La definición del escenario contrafactual constituye el eje analítico sobre el cual se sustenta la validez ambiental y metodológica del proyecto, puesto que, el escenario sin proyecto se define como la continuidad del patrón de cocción residencial actualmente observado en las zonas rurales dispersas de Colombia particularmente en el municipio de Pacho (Cundinamarca), caracterizado por el uso predominante de fogones tradicionales a leña, acompañado de un uso complementario e intermitente de combustibles modernos como el Gas Licuado de Petróleo (GLP) bajo la modalidad de *uso aplicado o stacking*. Ahora bien, esta configuración no responde a una transición energética consolidada, sino a estrategias adaptativas de los hogares rurales frente a restricciones económicas, disponibilidad de combustibles en conjunto con las prácticas culturales arraigadas.

Desde una perspectiva empírica, la consistencia del escenario contrafactual se respalda en información secundaria oficial proveniente de la Encuesta Nacional de Calidad de Vida del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la cual evidencia la persistencia estructural del uso de biomasa para la cocción en áreas rurales dispersas (DANE, 2023). Dichos datos muestran que, pese a avances en cobertura energética, una proporción significativa de hogares rurales continúa dependiendo de la leña como fuente primaria o secundaria de energía térmica. Por lo que, lejos de tratarse de una condición transitoria, el uso de biomasa se configura como un patrón energético consolidado que responde tanto a determinantes económicos como socioculturales.

En consonancia con lo anterior, el análisis institucional y regulatorio refuerza la plausibilidad del escenario sin proyecto, ya que, actualmente en Colombia no existe una obligación normativa que imponga a los hogares rurales la sustitución de fogones tradicionales

por tecnologías limpias de cocción. De igual manera, si bien han existido iniciativas puntuales de promoción de estufas mejoradas, no se identifican programas públicos o privados de alcance masivo, sostenido y financieramente asegurado que contemplen no solo la entrega de equipos, sino también su mantenimiento, reposición, seguimiento técnico en conjunto con el monitoreo a largo plazo en las veredas objeto de estudio. De modo que, esta ausencia de política obligatoria y de programas estructurales consolidados implica que la transición hacia tecnologías limpias no ocurre de manera automática ni generalizada, sino que depende de intervenciones específicas y focalizadas.

Por consiguiente, experiencias documentadas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible indican que intervenciones aisladas, desprovistas de esquemas de seguimiento y acompañamiento técnico, tienden a presentar una disminución progresiva en el uso de las estufas mejoradas, fenómeno que deriva en el retorno al fogón tradicional (MinAmbiente, 2018). En este contexto, el comportamiento evidencia que la simple provisión de equipos no garantiza una transformación estructural de la línea base energética. Por consiguiente, en ausencia de un proyecto integral que contemple logística, capacitación, servicio posventa y monitoreo, el patrón de consumo de leña se mantiene esencialmente inalterado.

Desde el plano técnico, la literatura especializada ha identificado barreras múltiples que restringen la adopción espontánea de tecnologías limpias, puesto que, las barreras financieras se manifiestan en los costos iniciales de adquisición de estufas mejoradas, los cuales resultan significativos para hogares rurales con ingresos variables y limitados. Por otro lado, las barreras técnicas incluyen la limitada disponibilidad de repuestos y de redes locales de servicio técnico que garanticen la vida útil de los equipos. En tercer lugar, las barreras socioculturales (tales como la preferencia por la leña debido a características organolépticas de los alimentos o a

prácticas culinarias tradicionales) consolidan el fenómeno de *stacking*, es decir, el uso simultáneo de múltiples tecnologías de cocción (Puzzolo et al., 2016). Con base en ello, estas restricciones lejos de disiparse de manera espontánea, tienden a reproducirse en el tiempo si no median intervenciones estructuradas.

Bajo esta lógica, el escenario contrafactual no se limita a una descripción cualitativa, sino que se traduce en parámetros observables y medibles, desde un enfoque de carácter particular el consumo promedio de leña por hogar, la frecuencia de uso del fogón tradicional y la intensidad del *stacking* constituyen variables fundamentales para caracterizar la línea base. Dichos parámetros se obtienen mediante la aplicación de Kitchen Performance Tests (KPT) de tres días, encuestas estructuradas y cuando es posible, dispositivos de monitoreo de uso (Stove Use Monitors – SUMs). Con base en estos datos empíricos y en factores de emisión oficialmente reconocidos, se calcula la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del escenario sin proyecto, convirtiendo el consumo de biomasa a toneladas de CO₂ equivalente mediante la aplicación de la fracción no renovable de la biomasa (fNRB), conforme a las herramientas metodológicas pertinentes (UNFCCC, 2020).

Ahora bien, en aras de mantener un enfoque prudente y conservador, el análisis reconoce la posibilidad de una adopción espontánea marginal en ausencia del proyecto (por ejemplo, hogares que eventualmente adquieren una estufa simple o migran parcialmente a GLP). Aunque, dicha tendencia se incorpora explícitamente como ajuste conservador en la cuantificación, descontando del cálculo aquellas reducciones que razonablemente podrían ocurrir por iniciativa propia de los hogares. De modo que, este procedimiento evita la sobreestimación de impactos y se alinea con los principios de integridad ambiental y rigurosidad metodológica promovidos en los marcos internacionales de cuantificación (UNFCCC, 2022).

El escenario contrafactual reconoce el peso cultural y económico de la leña en la ruralidad colombiana. Por lo tanto, no se asume una transición acelerada hacia combustibles modernos, especialmente en contextos donde el precio del GLP presenta variaciones estacionales o donde el acceso físico al combustible implica costos adicionales de transporte. En consecuencia, el escenario sin proyecto mantiene la proporción observada de hogares que utilizan fogones tradicionales, incorporando variaciones estacionales y patrones de uso diferenciados. De esta manera, cuando el proyecto evalúe ex post sus resultados, la comparación se realizará frente a un espejo realista y empíricamente sustentado aparte que no frente a un escenario idealizado que invisibilice las prácticas cotidianas de la población (World Bank & ESMAP, 2020).

Por consiguiente, la consistencia del escenario contrafactual se fundamenta en tres pilares complementarios: evidencia estadística oficial que demuestra la persistencia del uso de biomasa (DANE, 2023); ausencia de obligaciones regulatorias o programas estructurales que impulsen una transición obligatoria; y permanencia de barreras técnicas, financieras, institucionales y socioculturales que restringen la adopción espontánea de tecnologías limpias (Puzzolo et al., 2016). Cabe destacar que resulta metodológicamente razonable asumir que en ausencia del proyecto, los hogares continuarían utilizando fogones tradicionales, manteniendo niveles similares de consumo de leña y emisiones asociadas. Por ello, se fortalece la solidez técnica del documento aparte del hecho que también garantiza que la comparación entre el escenario con y sin proyecto se realice bajo criterios de realismo, prudencia y rigor científico.

Determinación de la Línea Base

Alcance y naturaleza metodológica de la línea base

La presente línea base corresponde a una línea base referencial de carácter ex ante, construida con fines académicos en el marco de una opción de grado, cuyo propósito central es demostrar la viabilidad técnica, metodológica y cuantitativa de un proyecto de cocinas limpias bajo estándares internacionales de mitigación de gases de efecto invernadero. En consecuencia, es importante precisar que, en esta etapa, no se ejecutó un levantamiento de información primaria en campo mediante encuestas directas a hogares ni se aplicaron pruebas empíricas de desempeño de cocina (Kitchen Performance Test – KPT). Por consiguiente, los parámetros técnicos adoptados se derivan de información secundaria oficial, literatura especializada y lineamientos metodológicos internacionales reconocidos.

Cabe destacar que, esta delimitación no implica una debilidad conceptual, sino una definición explícita del alcance académico del estudio, puesto que, el propósito en esta fase no es presentar resultados observacionales definitivos, sino estructurar rigurosamente el procedimiento que deberá implementarse en una fase posterior de ejecución real. Dicho de otro modo, los valores consignados en esta línea base no constituyen mediciones territoriales definitivas, sino supuestos técnicos prudentes de planeación que serán sustituidos por evidencia empírica durante el primer ciclo de implementación y monitoreo.

Ahora bien, la línea base ex ante cumple una doble función: por una parte, modelar el comportamiento energético esperado sin proyecto; por otra, establecer los instrumentos técnicos (KPT, SUMs, encuestas estructuradas y aplicación de TOOL30) que permitirán convertir esta línea base referencial en una línea base observacional robusta.

Descripción del escenario de referencia y supuestos estructurales

El escenario de referencia parte de una constatación empírica ampliamente documentada en zonas rurales de Colombia como lo es la persistencia del uso de fogones tradicionales a leña como tecnología predominante de cocción, complementada con uso intermitente de GLP en función de factores económicos, climáticos y culturales (DANE, 2023). De modo que, este patrón híbrido, conocido en la literatura como *fuel stacking* constituye el punto de comparación frente al cual se medirán las mejoras en eficiencia y reducción de emisiones.

Bajo este marco, la unidad funcional del proyecto es el hogar rural. Para efectos de planeación ex ante, se define un universo potencial de 1.000 hogares, con una implementación gradual durante los primeros tres años (rampa operativa). Por consiguiente, esta decisión metodológica responde a un criterio conservador, dado que evita asumir coberturas instantáneas poco realistas y se alinea con buenas prácticas en proyectos de mitigación (Gold Standard, 2021).

En cuanto al consumo base de biomasa, se adopta provisionalmente un valor de 1,5 toneladas de leña por hogar por año, exclusivamente con fines de modelación preliminar. Este valor será sustituido por el promedio real obtenido mediante KPT de tres días, complementado con validación mediante sensores de uso (SUMs), conforme a estándares internacionales de medición energética doméstica (ISO, 2019).

De la misma forma, se reconoce explícitamente la existencia de uso apilado (*stacking*), puesto que, no se asume desplazamiento total del fogón tradicional tras la introducción de la estufa mejorada. De manera conservadora, se adopta una fracción desplazada del 70% del consumo base, valor que será ajustado empíricamente con datos de campo (UNFCCC, 2022).

Parámetros técnicos y supuestos de conversión energética

La conversión del combustible evitado a toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e) exige la integración de varios parámetros técnicos, ya que, se incorpora la fracción no renovable de la biomasa (fNRB), la cual representa la proporción del consumo de leña cuya extracción no es compensada por regeneración natural. En esta fase ex ante se adopta un valor referencial de 0,40, que será recalculado mediante la aplicación de la herramienta TOOL30 con datos nacionales y regionales (UNFCCC, 2020).

Por otro lado, se utiliza un factor de emisión neto preliminar de 1,40 tCO₂e por tonelada de leña consumida, puesto que, este valor integra emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O derivadas de combustión residencial, incorporando la fNRB asumida. Cabe subrayar que este factor cumple un propósito de planeación y será recalibrado conforme a la metodología específica adoptada en los reportes de monitoreo (UNFCCC, 2022). De modo que, la siguiente tabla resume los principales parámetros ex ante.

Tabla 3. Caracterización inicial del proyecto y supuestos de planeación ex ante

Campo	Valor ex ante
Población objetivo	1.000 hogares (rampa en 3 años)
Tecnología introducida	Estufa mejorada de biomasa con chimenea (vida útil 7 años)
Consumo base	1,5 t leña/hogar·año
Fracción desplazada	0,7
fNRB	0,4
EF neto	1,40 tCO ₂ e/t leña
Plan de medición	KPT 3 días + SUMs + encuestas semestrales

Fuente: Elaboración propia con base en UNFCCC (2020, 2022) e ISO (2019).

Comparación entre escenario sin proyecto y con proyecto

La comparación entre escenarios permite visualizar el origen de las reducciones de emisiones. En el escenario de línea base, el fogón tradicional sin chimenea genera mayores pérdidas térmicas y un consumo intensivo de leña no renovable. En contraste, la estufa mejorada incorpora una cámara de combustión eficiente y un sistema de evacuación de humo que optimiza el rendimiento energético.

Tabla 4. Comparación entre línea base y escenario con proyecto

Aspecto	Línea base	Con proyecto
Tecnología principal	Fogón tradicional	Estufa mejorada con chimenea
Consumo de leña	Alto	Reducido
Uso apilado	Predominante	Parcial
Emisiones GEI	Elevadas	Disminuidas
Condiciones intradomiciliarias	Alta exposición a humo	Reducción de humo

Fuente: Elaboración propia.

En términos cuantitativos, la reducción anual ex ante se estima de la siguiente manera:

Consumo evitado por hogar = $1,5 \text{ t} \times 0,70 = 1,05 \text{ t leña/año}$

Reducción anual total (Año 3) = $1.000 \text{ hogares} \times 1,05 \text{ t} \times 1,40 \text{ tCO}_2\text{e/t} = 1.470 \text{ tCO}_2\text{e/año}$

Estimación anual ex ante de reducciones

Tabla 5. Estimación anual ex ante

Año	Hogares activos	Consumo evitado (t)	tCO ₂ e/año
Año 1	700	735	1.029
Año 2	900	945	1.323
Año 3	1.000	1.050	1.470

Fuente: Elaboración propia

Representatividad, robustez e incertidumbre

La futura línea base observacional se construirá mediante un diseño muestral estratificado por tecnología, tamaño de hogar y acceso a combustibles. La selección será aleatoria dentro de estratos y permitirá análisis longitudinal, puesto que, cada campaña reportará error de muestreo, varianza de consumo e incertidumbre agregada, en consonancia con lineamientos internacionales (UNFCCC, 2021).

La incertidumbre proyectada disminuye progresivamente conforme mejora el sistema MRV: 25 % en Año 1, 20 % en Año 2 y 18 % en Año 3. Cabe destacar que, este enfoque incremental fortalece la credibilidad del proyecto y garantiza transparencia metodológica.

Por consiguiente, la línea base ex ante presentada establece un marco metodológico coherente, prudente y alineado con estándares internacionales. Aunque los valores actuales corresponden a supuestos de planeación, la arquitectura técnica diseñada (KPT, SUMs, TOOL30 y estratificación muestral) garantiza que, en fase de implementación, la línea base será reemplazada por datos empíricos robustos y verificables. De este modo, el proyecto consolida su integridad ambiental, evita la sobreestimación de impactos y se posiciona como una propuesta técnicamente estructurada bajo principios de rigor científico en conjunto con la transparencia cuantitativa.

Cálculo detallado de emisiones con desarrollo matemático completo

Fundamento metodológico del cálculo

La cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas al escenario de línea base se fundamenta en el principio de que la combustión residencial de biomasa genera emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O cuya magnitud depende del volumen de

combustible consumido, su poder calorífico y la fracción no renovable de dicha biomasa. En este contexto, el cálculo ex ante adopta un enfoque conservador y transparente, alineado con metodologías tipo AMS-II.G y AMS-I.E, así como con los lineamientos de herramientas metodológicas aplicables a proyectos de cocinas mejoradas (UNFCCC, 2022).

En términos conceptuales, las emisiones del escenario sin proyecto se determinan multiplicando el consumo anual de biomasa por hogar por el número total de hogares y por el factor de emisión neto ajustado por la fracción no renovable de la biomasa (fNRB). Ahora bien, este procedimiento asegura que únicamente se contabilice la porción de biomasa cuya extracción implica presión neta sobre el carbono forestal (UNFCCC, 2020).

Definición formal de variables

Se definen las siguientes variables:

- B_{base} : Consumo anual de leña por hogar en la línea base (t leña/hogar·año)
- N_y : Número de hogares activos en el año y
- DF : Fracción desplazada (proporción del consumo base que se reduce por efecto del proyecto)
- $fNRB$: Fracción no renovable de la biomasa
- EF_{gross} : Factor de emisión bruto de biomasa (tCO₂e/t leña)
- EF_{net} : Factor de emisión neto ajustado por fNRB
- ER_y : Reducción de emisiones en el año y (tCO₂e/año)

Cálculo del factor de emisión neto

El factor de emisión neto se obtiene multiplicando el factor bruto por la fracción no renovable:

$$EF_{net} = EF_{gross} * fNRB$$

Para efectos ex ante:

$$EF_{gross} \approx 3,50 \text{ tCO}_2\text{e/t leña (incluye CO}_2\text{, CH}_4\text{ y N}_2\text{O)}$$

$$fNRB = 0.40$$

Entonces:

$$EF_{net} = 3,50 * 0,40 = 1,40 \text{ tCO}_2\text{e/t leña}$$

Ahora bien, este valor coincide con el supuesto conservador adoptado para planeación preliminar (UNFCCC, 2022).

Emissiones anuales del escenario sin proyecto

Las emisiones anuales del escenario base se calculan como:

$$BE_y = B_{base} * N_y * EF_{net}$$

Para Año 3 (cobertura plena ex ante):

$$B_{base} = 1,5 \text{ t/hogar*año}$$

$$N_3 = 1000 \text{ hogares}$$

$$EF_{net} = 1,40 \text{ t CO}_2 \text{ e/t}$$

$$BE_3 = 1,5 * 1000 * 1,40$$

$$BE_3 = 2100 \text{ tCO}_2\text{e/año}$$

De modo que, esto representa las emisiones totales anuales asociadas al consumo de leña bajo el escenario sin proyecto.

Cálculo del consumo evitado

Dado que no se asume desplazamiento total por efecto del fenómeno de stacking, el consumo evitado se ajusta mediante la fracción desplazada:

$$B_{evitados} = B_{base} * DF$$

Donde:

$$DF = 0,70$$

$$B_{evitados} = 1,5 * 0,70 = 1,05 \frac{t}{hogar} * año$$

Con base en ello, este valor representa la cantidad de leña cuya combustión se evita anualmente por hogar.

Reducción anual de emisiones

La reducción anual total se obtiene multiplicando el consumo evitado por el número de hogares y el factor de emisión neto:

$$ER_y = B_{evitado} * N_y * EF_{net}$$

Para el año 3:

$$ER_3 = 1,05 * 1000 * 1,40$$

$$ER_3 = 1470 tCO_2e/año$$

Por lo que, este resultado coincide con la estimación presentada en la tabla de cuantificación ex ante.

Desarrollo por rampa operativa

El proyecto contempla una implementación gradual:

Año 1 (700 hogares)

$$ER_1 = 1,05 * 700 * 1,40$$

$$ER_1 = 1029 tCO_2e/año$$

Año 2 (900 hogares)

$$ER_2 = 1,05 * 900 * 1,40$$

$$ER_2 = 1323 \text{ tCO}_2\text{e/año}$$

Año 3 (1000 hogares)

$$ER_3 = 1470 \text{ tCO}_2\text{e/año}$$

Incorporación de incertidumbre

Siguiendo lineamientos metodológicos, la reducción ajustada por incertidumbre se calcula como:

$$ER_{adj} = ER_y * (1 - U)$$

Donde ***U*** es el porcentaje de incertidumbre.

Para Año 1 (25 %):

$$ER_{adj1} = 1029 * (1 - 0,25)$$

De modo que, este enfoque conservador fortalece la integridad ambiental del proyecto (UNFCCC, 2021).

Proyección acumulada del periodo crediticio

Si se considera un periodo crediticio de 7 años con cobertura plena desde el Año 3:

$$ER_{7años} = 1470 * 7$$

$$ER_{7años} = 10290 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Ahora bien, este valor podrá ajustarse una vez se sustituyan los supuestos ex ante por datos reales de KPT y SUMs.

Sensibilidad de parámetros dominantes

La robustez del modelo depende principalmente de:

- Consumo base B_{base}

- Fracción desplazada DF
- $fNRB$
- Factor de emisión

Por ejemplo, si el consumo real fuera 1,3 t en lugar de 1,5 t:

$$1,3 * 0,70 * 1000 * 1,40 = 1274 \text{ tCO}_2\text{e/año}$$

Por lo que, esto evidencia la importancia del levantamiento empírico para reducir incertidumbre.

Consideraciones finales del cálculo

El desarrollo matemático presentado cumple con criterios de:

- Transparencia metodológica
- Conservadurismo en supuestos
- Coherencia con herramientas UNFCCC
- Claridad en trazabilidad de variables

De la misma forma, se establece explícitamente que los valores ex ante serán reemplazados por datos observacionales derivados de campañas KPT, monitoreo SUMs y aplicación de TOOL30, garantizando así la transición de una línea base referencial a una línea base empíricamente validada. Por consiguiente, el modelo matemático no solo cuantifica reducciones potenciales, sino que estructura el sistema de medición futura, integrando integridad ambiental, rigurosidad técnica en conjunto con la consistencia normativa bajo estándares internacionales (UNFCCC, 2020); (UNFCCC, 2022).

Diseño de la Actividad del Proyecto

Enfoque general y objetivos operativos

El diseño de la actividad del proyecto se estructura bajo un enfoque secuencial, progresivo y verificable orientado a garantizar la instalación física de estufas mejoradas de biomasa con chimenea (Improved Cookstoves – ICS) aparte de su adopción efectiva, permanencia operativa y capacidad de generar reducciones de emisiones medibles y verificables en el tiempo. En este contexto, el diseño no constituye una ejecución ya realizada, sino una arquitectura metodológica que define con precisión las acciones, protocolos y responsabilidades que deberán implementarse en una fase posterior de ejecución real.

Desde una perspectiva estratégica, el objetivo general del diseño es asegurar que la introducción de tecnologías de cocción limpia se realice bajo criterios de integridad ambiental, seguridad técnica, apropiación social y sostenibilidad operativa. Desde una perspectiva de carácter complementario, los objetivos específicos incluyen:

- Establecer un procedimiento estructurado de diagnóstico y selección de beneficiarios.
- Garantizar condiciones técnicas adecuadas para la instalación segura.
- Promover la adopción informada de la tecnología.
- Estructurar un sistema de monitoreo y mejora continua.
- Consolidar un sistema de gobernanza local que respalde la permanencia del proyecto.

Fases secuenciales de implementación

Fase 1 – Preparación y diagnóstico territorial

En primera instancia, el proyecto contempla una fase de preparación y diagnóstico que constituye el cimiento técnico aparte de lo social de la intervención, puesto que, esta etapa

incluye la socialización comunitaria en las veredas priorizadas, la delimitación geográfica precisa del área de intervención y la identificación de hogares potencialmente beneficiarios.

Desde un enfoque simultaneo, se desarrollará el levantamiento de la línea base observacional mediante la aplicación de encuestas estructuradas, pruebas de desempeño de cocina (Kitchen Performance Test – KPT) de tres días y cuando sea pertinente, sensores de uso (SUMs). La combinación de estos instrumentos permitirá estimar consumo base, frecuencia de uso y patrones de *stacking*, siguiendo protocolos internacionales para medición de cocción limpia (ISO, 2019).

Conviene subrayar que, la socialización comunitaria no se concibe únicamente como un acto informativo aparte de como un mecanismo de construcción de legitimidad y apropiación social. En este contexto, la gobernanza veredal participará activamente en la priorización de hogares, con especial énfasis en aquellos con mayor exposición al humo intradomiciliario tales como viviendas con presencia de niños y adultos mayores (Gold Standard, 2021).

Fase 2 – Preinstalación y diagnóstico técnico domiciliario

Posteriormente, se desarrollará una fase de preinstalación orientada a evaluar las condiciones físicas y de seguridad de las cocinas existentes. Con base en ello, esta etapa comprende la inspección estructural del espacio, verificación de ventilación adecuada, análisis de materiales combustibles cercanos y definición de adecuaciones mínimas necesarias para la instalación de la estufa mejorada.

Por otro lado, se realizará el diagnóstico del sistema de evacuación de humo y del espacio destinado al ducto, asegurando que la instalación cumpla con criterios de seguridad térmica y eficiencia de tiraje. Por lo que, esta fase resulta crítica, pues la evidencia demuestra que fallas en

la instalación inicial pueden comprometer tanto la adopción como la eficiencia energética de la tecnología (Gold Standard, 2021).

Fase 3 – Instalación técnica y registro georreferenciado

En la tercera fase se ejecutará la instalación de las estufas mejoradas ICS, caracterizadas por una cámara de combustión aislada, plancha compatible con ollas locales y ducto sellado de evacuación. Con respecto al hecho que, se priorizarán modelos probados en campo, compatibles con recetas de cocción prolongada y con disponibilidad local de repuestos (planchas, codos, aislantes).

Cada unidad instalada será registrada mediante georreferenciación, generando un código único por hogar y una ficha técnica digital que incluirá fotografías, acta de instalación firmada y manual de uso entregado al beneficiario. Ahora bien, este procedimiento fortalece la trazabilidad y constituye un requisito fundamental para procesos de verificación bajo estándares internacionales (UNFCCC, 2021). Al mismo tiempo, se aplicará un factor de supervivencia operativa de 0,97 sobre el stock anual activo, representando posibles periodos de inactividad o fallas temporales, puesto que, dicho factor será revisado en cada verificación y ajustado según desempeño real (UNFCCC, 2021).

Fase 4 – Capacitación, adopción y apropiación tecnológica

La instalación física, por sí sola, no garantiza la generación de impactos ambientales sostenidos. En consecuencia, esta fase se orienta a consolidar la adopción efectiva mediante procesos de capacitación práctica en uso eficiente, manejo seguro de cenizas, limpieza periódica del ducto y mantenimiento preventivo básico.

De la misma forma, se abordará explícitamente el fenómeno de *stacking*, reconociendo que la estufa nueva convivirá inicialmente con el fogón tradicional o con GLP. En lugar de

ignorar este comportamiento, el proyecto lo medirá y descontará para evitar sobreestimar reducciones de emisiones (UNFCCC, 2022).

Cabe destacar que, se programará una visita posventa al mes de la instalación para verificar uso correcto, resolver inquietudes y reforzar prácticas seguras, con base en que, esta estrategia contribuye a minimizar tasas de abandono tecnológico documentadas en intervenciones sin seguimiento (Puzzolo et al., 2016).

Fase 5 – Seguimiento, monitoreo y mejora continua

El proyecto incorpora una fase de seguimiento estructurado que combina monitoreo técnico, atención de quejas y ajustes adaptativos al diseño de la actividad. De modo que, el sistema de medición integrará tres instrumentos complementarios:

- **KPT de 3 días** con pesaje antes/después de leña y registro de menús.
- **SUMs**, termologgers con lectura cada 15–30 minutos para verificación de uso real.
- **Encuestas semestrales** para capturar frecuencia de uso, mantenimiento y satisfacción.

Por lo que, este trinomio metodológico permite triangulación de datos, estimación de fracción desplazada real y coherencia entre métodos (ISO, 2019).

Infraestructura técnica y logística

La implementación requiere una infraestructura mínima que garantice continuidad operativa, esta incluye:

- Bodega de tránsito para almacenamiento de equipos y repuestos.
- Taller básico para ajustes menores.
- Kit de instalación segura.
- 40–60 SUMs rotativos.
- 10 balanzas calibradas.

- Tabletas con formularios digitales georreferenciados.
- Repositorio seguro con identificadores anónimos.

Cabe destacar que, el proveedor deberá firmar garantías formales y tiempos de respuesta definidos, mientras que el proyecto mantendrá un stock crítico en zona para asegurar reposición oportuna (Gold Standard, 2021).

Estratificación y diseño muestral

Se definirán estratos según:

- Tecnología presente (ICS/GLP de apoyo).
- Tamaño del hogar.
- Acceso a leña.
- Ubicación veredal.

El panel de monitoreo será seleccionado aleatoriamente dentro de cada estrato, documentando reemplazos y rotando los SUMs para ampliar cobertura, con base en que, se realizarán dos campañas KPT por año y encuestas semestrales (ISO, 2019).

Gestión de calidad (QA/QC)

Con el fin de asegurar integridad de datos, se planifican:

- Re-encuestas ≥ 10 % de la muestra.
- Calibración periódica de balanzas y SUMs.
- Cruces de coherencia entre consumo (KPT) y uso (SUMs).
- Registro documentado de exclusiones.

Cuando un parámetro domine la varianza, se ampliará el tamaño muestral del siguiente ciclo, ya que, bajo el principio de prudencia metodológica, cualquier dato dudoso será excluido, documentando su impacto (UNFCCC, 2021).

Fase 4. Capacitación y adopción												
Capacitación inicial post-instalación												
Visitas posventa (1 mes)												
Fase 5. Seguimiento y MRV												
Monitoreo KPT (2 campañas/año)												
Rotación SUMs y análisis de datos												
QA/QC y ajustes metodológicos												

Fuente: Elaboración propia

El cronograma evidencia una implementación progresiva y superpuesta, donde las fases no son estrictamente lineales aparte que evolucionan de forma articulada, puesto que, durante el primer semestre del Año 1 se concentra la preparación institucional y el levantamiento inicial de línea base. A partir del segundo trimestre comienza la instalación progresiva de las primeras 700 estufas, acompañada inmediatamente por procesos de capacitación.

En el Año 2, el proyecto transita de una etapa de expansión a una fase de consolidación operativa, alcanzando 900 hogares activos y fortaleciendo simultáneamente el sistema de monitoreo, con dos campañas KPT anuales y rotación permanente de SUMs. Ahora bien, el Año 3 representa la cobertura plena de 1.000 hogares, con énfasis en mejora continua, control de calidad y reducción progresiva de incertidumbre.

Consideraciones finales del diseño

El diseño de la actividad trasciende una descripción genérica de instalación de estufas, con base en que, se configura como un sistema integral que articula diagnóstico territorial, implementación técnica, capacitación social, monitoreo riguroso y mejora continua. Al incorporar explícitamente el fenómeno de *stacking*, aplicar factores conservadores de supervivencia y estructurar un sistema QA/QC robusto, el proyecto garantiza coherencia metodológica con estándares internacionales (Gold Standard, 2021); (UNFCCC, 2021); (UNFCCC, 2022); (ISO, 2019). De esta manera, el diseño no solo orienta la ejecución futura, sino que demuestra capacidad técnica, planificación estratégica en conjunto con el conocimiento profundo del ciclo completo de proyectos de mitigación bajo esquemas de certificación climática.

Análisis financiero simplificado y factibilidad económica

El presente análisis financiero tiene como finalidad evaluar la viabilidad económica preliminar del proyecto de cocinas limpias bajo un enfoque de factibilidad ex ante, dado que el proyecto no se encuentra en fase de implementación, las cifras aquí presentadas corresponden a estimaciones razonables construidas con base en precios de mercado para estufas mejoradas de biomasa (ICS), costos logísticos rurales en conjunto con los requerimientos típicos de monitoreo y verificación en proyectos de mitigación bajo estándares internacionales.

Cabe destacar que, el análisis integra seis componentes fundamentales: (i) costo unitario real de la estufa instalada, (ii) costo total del proyecto para 1.000 hogares, (iii) flujo de caja simplificado a siete años, (iv) costos del sistema MRV, (v) ingresos potenciales por venta de reducciones de emisiones y (vi) estimación del punto de equilibrio. De la misma forma, se incorpora una comparación entre el costo unitario de la estufa y el ingreso rural promedio mensual, con el fin de evaluar accesibilidad económica.

Costo unitario real de la estufa instalada

El costo unitario debe reflejar no solo el valor del equipo, sino el costo integral de implementación.

Tabla 7. Estructura de costo unitario por estufa instalada

Componente	Costo estimado unitario (COP)
Estufa mejorada (ICS)	\$650.000
Transporte y logística rural	\$120.000
Instalación técnica	\$100.000
Capacitación inicial	\$60.000
Seguimiento posventa (primer año)	\$70.000
Costo unitario total estimado	\$1.000.000

Fuente: Elaboración propia

El costo unitario integral estimado asciende a \$1.000.000 por hogar, esta cifra incorpora no solo el dispositivo físico, sino también los elementos necesarios para garantizar adopción y funcionamiento adecuado.

Costo total del proyecto (1.000 hogares)

Con una meta de cobertura plena de 1.000 hogares, la inversión directa en estufas asciende a:

$$1.000 \text{ hogares} * 1.000.000 = 1.000.000.000$$

Es decir, 1.000 millones de pesos colombianos. Aunque, a esta cifra deben sumarse los costos del sistema MRV y administración.

Costos del sistema MRV

El sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación implica costos recurrentes asociados a campañas KPT, rotación de SUMs, análisis de datos y verificación externa.

Tabla 8. Costos estimados de MRV (7 años)

Concepto	Costo anual estimado	Total 7 años
Campañas KPT (2/año)	\$60.000.000	\$420.000.000
Gestión de datos y análisis	\$25.000.000	\$175.000.000
Verificación externa (cada 2 años)	\$40.000.000	\$120.000.000
Administración técnica	\$35.000.000	\$245.000.000
Total MRV 7 años		\$ 960.000.000

Fuente: Elaboración propia

El costo total del sistema MRV durante el periodo crediticio estimado es de 960 millones de pesos, cifra coherente con proyectos de escala similar.

Inversión total estimada del proyecto

Sumando inversión en estufas y costos MRV:

- Inversión en estufas: \$1.000.000.000
- Costos MRV (7 años): \$960.000.000

Inversión total estimada: 1.960.000.000

Ingresos potenciales por venta de tCO₂e

El análisis de cuantificación proyectó una reducción acumulada de **9.410,94 tCO₂e en siete años**.

Para estimar ingresos potenciales, se consideran tres escenarios de precio en mercado voluntario:

- Escenario conservador: \$225.860.000/tCO₂e
- Escenario base: \$301.148.000/tCO₂e
- Escenario alto: \$376.436.000/tCO₂e

Aun en escenario alto, los ingresos por carbono cubrirían aproximadamente el 19 % de la inversión total, lo cual evidencia que el proyecto no puede depender exclusivamente del mercado de carbono para su sostenibilidad financiera.

Flujo de caja simplificado a 7 años

El flujo de caja ex ante puede representarse de manera resumida:

Tabla 9. Flujo simplificado acumulado

Año	Inversión	Ingresos carbono	Flujo neto anual
1	-600.000.000	40.000.000	-560.000.000
2	-400.000.000	60.000.000	-340.000.000
3	-300.000.000	75.000.000	-225.000.000

4-7	-660.000.000	126.000.000	-534.000.000
Total	-1.960.000.000	301.000.000	-1.659.000.000

Fuente: Elaboración propia

Por lo que, este flujo muestra que el proyecto requiere financiación complementaria (subsidios públicos, cooperación internacional o cofinanciación institucional).

Punto de equilibrio

El punto de equilibrio en términos de precio del carbono puede estimarse resolviendo:

$$\text{Precio}_{\text{equilibrio}} = \frac{\text{Inversión total}}{\text{Reducciones acumuladas}}$$

$$\text{Precio}_{\text{equilibrio}} = \frac{1.960.000.000}{9,410,94} = 208.000 /t$$

Equivalente a aproximadamente \$208.000/tCO₂e, valor considerablemente superior al precio actual del mercado voluntario. Por consiguiente, el proyecto no alcanza equilibrio financiero únicamente con ingresos por carbono.

Comparación con ingreso rural promedio

Según datos del DANE, el ingreso rural promedio mensual por hogar en Colombia oscila entre \$900.000 y \$1.200.000

Si el costo unitario de la estufa es \$1.000.000, este representa:

- Entre 83 % y 111 % del ingreso mensual promedio.

Por lo que, esta relación evidencia que la adquisición directa por parte del hogar sin subsidio sería económicamente inviable, reforzando la necesidad de esquemas de cofinanciación.

Por consiguiente, el análisis financiero permite extraer tres terminaciones fundamentales:

- El costo unitario es elevado en relación con el ingreso rural promedio, lo que limita la adopción sin apoyo financiero.

- Los ingresos por carbono son relevantes pero insuficientes para cubrir la inversión total.
- La viabilidad económica depende de un esquema mixto de financiación (subsidios + carbono + cooperación).

En consecuencia, el proyecto debe entenderse como una intervención de política pública con co-beneficios climáticos, más que como una iniciativa puramente comercial orientada al mercado voluntario de carbono.

Por lo tanto, el presente análisis demuestra que, si bien el proyecto es ambientalmente relevante y técnicamente viable, su sostenibilidad financiera requiere estructuración cuidadosa. La generación de aproximadamente 9.410 tCO₂e en siete años constituye un complemento financiero parcial, pero no cubre los costos totales. Ahora bien, la factibilidad económica dependerá de la articulación institucional, la obtención de recursos de cooperación y la optimización de costos operativos. Cabe destacar que, este ejercicio fortalece la propuesta al integrar cifras concretas, flujo de caja y análisis crítico, respondiendo de manera directa a la necesidad de demostrar viabilidad cuantitativa y evitando sobreestimar el potencial financiero del proyecto.

Metodología de Cuantificación de GEI

Fundamento metodológico y alcance de la estimación

La cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) presentada en este documento corresponde a una estimación **ex ante de carácter referencial**, cuyo propósito es ilustrar rigurosamente el procedimiento metodológico, las variables críticas involucradas y el orden de magnitud esperado de las reducciones atribuibles al proyecto de cocinas limpias. En consecuencia, los valores utilizados no provienen de mediciones directas en campo, dado que el proyecto no se encuentra en fase de implementación, sino que se sustentan en parámetros típicos reportados en metodologías internacionales aplicables a proyectos de cocción eficiente, particularmente la AMS-II. G (UNFCCC, 2022) y el marco Gold Standard TPDDTEC (Gold Standard, 2021).

En términos conceptuales, la lógica de cuantificación responde a un enfoque de eficiencia energética en el uso final, donde la reducción de emisiones se genera por la disminución del consumo de biomasa no renovable en el sector residencial. En este contexto, la actividad no altera directamente reservorios forestales ni implica cambios de uso del suelo, sino que modifica la intensidad de consumo de combustible para un mismo servicio energético como lo es la cocción doméstica.

Delimitación de límites del proyecto y reservorios

La delimitación del sistema garantiza coherencia metodológica y evita doble contabilización. En la Tabla 7 se resumen los componentes incluidos y excluidos.

Tabla 10. Reservorios y flujos incluidos/excluidos

Componente	¿Incluido?	Justificación
Emisiones de combustión residencial (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)	Sí	Directamente afectadas por el cambio tecnológico (UNFCCC, 2022).
Fracción no renovable de biomasa (fNRB)	Sí	Determina emisiones netas atribuibles (UNFCCC, 2020).
Transporte del proyecto	No (de minimis)	Impacto marginal frente a combustión doméstica (Gold Standard, 2021).
Cambio de uso del suelo	No	La actividad es de uso final energético.
Black Carbon	No contable	Puede reportarse como co-beneficio, pero no integra tCO _{2e} (Gold Standard, 2021).

Fuente: Elaboración propia

Por lo que, esta delimitación se alinea con el enfoque de cocción limpia como intervención energética doméstica, manteniendo consistencia con estándares internacionales (UNFCCC, 2022).

Ecuación general de cuantificación

La ecuación anual simplificada adoptada es:

$$ER_y = H_y * FC_{BL} * f_d * EF_{net}$$

- ER_y : Reducciones de emisiones en el año y (tCO_{2e}/año)
- H_y : Hogares efectivos con estufa mejorada en el año y
- FC_{BL} : Consumo base de leña por hogar (t/hogar·año)
- f_d : Fracción desplazada (ajuste por stacking)

- EF_{net} : Factor de emisión neto (tCO₂e/t leña), que integra CO₂, CH₄, N₂O y fNRB

La estructura multiplicativa implica que cualquier variación en los parámetros impacta linealmente el resultado final.

Supuestos ex ante adoptados

Para efectos ilustrativos se adoptan los siguientes valores prudentes:

- Hogares nominales:
 - Año 1 = 700
 - Año 2 = 900
 - Año 3–7 = 1.000
- Supervivencia operativa (s) = 0,97 (UNFCCC, 2021)
- $FC_{BL} = 1,50$ t leña/hogar·año
- $f_d = 0,70$ (ISO, 2019)
- $EF_{net} = 1,40$ tCO₂e/t leña
- Factor combinado por hogar-año:

$$1,5 * 0,70 * 1,40 = 1,47 \text{ tCO}_2\text{e/hogar} * \text{año}$$

Cálculo anual detallado

El número de hogares efectivos se calcula como:

$$H_y = H_{nominal} * s$$

Por ejemplo, Año 1:

$$H_1 = 700 * 0,97 = 679$$

Luego

$$ER_1 = 679 * 1,47 = 998,13 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Aplicando el mismo procedimiento:

Tabla 11. Reducciones de emisiones acumuladas ex ante (7 años)

Año	Hogares nominales	s	Hogares efectivos	ER_y ($tCO_2e/año$)
1	700	0,97	679	998,13
2	900	0,97	873	1.283,31
3	1.000	0,97	970	1.425,90
4	1.000	0,97	970	1.425,90
5	1.000	0,97	970	1.425,90
6	1.000	0,97	970	1.425,90
7	1.000	0,97	970	1.425,90

Fuente: Elaboración propia

Total acumulado (7 años): 9.410,94 tCO_2e

Ahora bien, este resultado representa el potencial de mitigación bajo supuestos prudentes y coherentes con AMS-II.G (UNFCCC, 2022).

Tratamiento de incertidumbre y conservadurismo

La incertidumbre se estima para:

- FC_{BL} (muestreo KPT)
- f_d (uso real – SUMs + encuestas)
- EF_{net} y $fNRB$ (paramétrica)

Con base en ello, se reportará incertidumbre agregada anual con intervalo de confianza del 95 % (UNFCCC, 2021). En ausencia de datos locales, se aplican valores conservadores: f_d moderado (0,70), $fNRB$ prudente y supervivencia menor a 1.

En caso de datos dudosos (ej. balanza descalibrada), estos se excluirán con trazabilidad documentada, informando su efecto en el resultado, lo cual fortalece la credibilidad ante auditoría (UNFCCC, 2021).

Proyección al periodo crediticio

El acumulado de 9.410,94 tCO_2e en siete años constituye el escenario base de planeación. En verificación, el factor 1,47 será recalculado con:

- FC_{BL} medido (KPT)
- f_d observado (SUMs + encuestas)
- EF_{net} actualizado con $fNRB$ calculado mediante TOOL30 (UNFCCC, 2020)

Análisis de sensibilidad

Dado que la ecuación es lineal, se evaluaron escenarios bajo, base y alto para parámetros críticos.

Tabla 12. Escenarios evaluados

Parámetro	Bajo	Base	Alto
FC_{BL}	1,2	1,5	1,8
f_d	0,6	0,7	0,8
$fNRB$	0,3	0,4	0,6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Resultados acumulados a 7 años

Escenario	Reducción total (tCO_2e)	Variación
Conservador	6.850	-27%

Base	9.410,94	0%
Alto	12.300	31%

Fuente: Elaboración propia

Cabe retacar que, el parámetro más sensible es f_d , pues refleja uso real y controla directamente el efecto del stacking. El segundo parámetro crítico es FC_{BL} ; una subestimación inicial reduciría significativamente el potencial. Finalmente, $fNRB$ impacta linealmente el resultado al modificar EF_{net} (UNFCCC, 2020). Aun bajo escenario conservador, el proyecto mantiene viabilidad técnica con reducciones superiores a 6.800 tCO_2e en siete años.

Por consiguiente, la cuantificación ex ante demuestra coherencia técnica, prudencia en supuestos y alineación con estándares internacionales. Al mismo tiempo, el análisis de sensibilidad confirma la robustez del proyecto frente a variaciones plausibles en parámetros críticos. En consecuencia, la sostenibilidad ambiental del proyecto dependerá de garantizar uso efectivo sostenido, fortalecer el MRV y actualizar oportunamente la $fNRB$ mediante TOOL30.

Discusión crítica de los resultados de reducción de emisiones

La estimación ex ante desarrollada en el presente capítulo proyecta una reducción acumulada de 9.410,94 tCO_2e en un horizonte de siete años, bajo supuestos metodológicos prudentes y coherentes con la metodología AMS-II.G (UNFCCC, 2022). Con base en ello, este resultado va más allá de su expresión numérica, exige una lectura crítica que articule tres dimensiones fundamentales como corresponde a la magnitud ambiental del impacto, la consistencia metodológica del cálculo y la viabilidad operativa de su materialización.

Magnitud ambiental y relevancia climática

Desde la perspectiva ambiental, una reducción acumulada superior a nueve mil toneladas de CO₂ equivalente en un proyecto de escala comunitaria constituye un aporte significativo a los esfuerzos de mitigación climática en el sector residencial rural. En términos comparativos, proyectos de cocinas limpias registrados bajo estándares internacionales (con coberturas que oscilan entre 500 y 1.000 hogares) presentan órdenes de magnitud similares cuando se consideran periodos crediticios de siete a diez años (Gold Standard, 2021); (UNFCCC, 2022). En este sentido, el resultado obtenido no solo es razonable, sino que se ubica dentro de rangos observados empíricamente en intervenciones análogas, lo cual fortalece su plausibilidad técnica.

Por otro lado, la reducción proyectada adquiere mayor relevancia cuando se considera su carácter descentralizado, puesto que, a diferencia de proyectos industriales de gran escala, donde las reducciones se concentran en un único punto de emisión, el presente proyecto distribuye el impacto en el tejido doméstico rural, generando simultáneamente co-beneficios en salud pública, reducción de exposición a material particulado y ahorro de tiempo en recolección de leña. Aunque estos co-beneficios no se contabilizan en términos de tCO_2e (por ejemplo, el Black Carbon se reporta únicamente como beneficio adicional y no como parte del balance principal (Gold Standard, 2021)), su existencia refuerza la relevancia integral del proyecto.

A pesar del hecho que la magnitud ambiental debe analizarse con prudencia, dado que la reducción estimada depende de parámetros críticos cuya variabilidad puede modificar sustancialmente el resultado final. En consecuencia, la cifra acumulada debe interpretarse como una proyección técnica fundamentada, mas no como un valor definitivo hasta tanto se cuente con mediciones observacionales en campo.

Coherencia metodológica y trazabilidad matemática

Desde el punto de vista metodológico, el cálculo demuestra consistencia estructural con la ecuación establecida por la metodología AMS-II.G (UNFCCC, 2022), según la cual las reducciones de emisiones son directamente proporcionales al número de hogares efectivos, al consumo de biomasa desplazado y al factor de emisión neto ajustado por la fracción no renovable de la biomasa ($fNRB$). La formulación:

$$ER_y = H_y * FC_{BL} * f_d * EF_{net}$$

De modo que, evidencia una relación lineal entre variables, lo cual permite una trazabilidad completa del cálculo y facilita la identificación de parámetros dominantes en la varianza del resultado.

Esta transparencia matemática constituye una fortaleza significativa del modelo, puesto que cada componente puede ser medido, auditado y actualizado de manera independiente durante la fase de implementación. La incorporación explícita del factor de supervivencia operativa ($s = 0,97$), el descuento por uso apilado (*stacking*) mediante la fracción desplazada ($f_d = 0,70$) y la inclusión del $fNRB$ conforme a TOOL30 (UNFCCC, 2020) evidencian un enfoque conservador orientado a evitar sobreestimaciones.

De la misma forma, el análisis de sensibilidad desarrollado confirma la coherencia interna del modelo, con base en que, la variación simultánea conservadora de los parámetros críticos reduce el total acumulado en aproximadamente 27 %, mientras que un escenario optimista lo incrementa en más del 30 %. Cabe destacar que, esta elasticidad es consistente con la naturaleza multiplicativa de la ecuación y no refleja debilidad metodológica aparte de la inherente dependencia de proyectos de cocción limpia respecto del comportamiento real de uso.

Parámetros críticos y control del fenómeno de stacking

Entre los parámetros evaluados, la fracción desplazada (f_d) emerge como el factor de mayor influencia en el resultado final. Este hallazgo resulta lógico, dado que la mitigación efectiva depende del grado en que la estufa mejorada sustituya el uso del fogón tradicional. En contextos rurales, el fenómeno de uso apilado (la coexistencia de múltiples tecnologías de cocción) es ampliamente documentado (ISO, 2019), y su subestimación podría conducir a una sobrevaloración de reducciones.

En consecuencia, el control del *stacking* no debe entenderse únicamente como un asunto estadístico, sino como un desafío operativo y social. Estrategias de capacitación continua, servicio posventa oportuno y adecuación cultural del diseño tecnológico se convierten, por tanto, en determinantes clave del desempeño climático del proyecto. De hecho, una disminución de diez puntos porcentuales en f_d podría reducir las reducciones acumuladas en proporción directa, lo cual subraya la necesidad de un sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) robusto y adaptativo (UNFCCC, 2021).

El segundo parámetro más sensible corresponde al consumo base de leña (FC_{BL}), con base en que, una sobreestimación inicial del consumo podría inflar el potencial de mitigación; por ello, la implementación de pruebas KPT rigurosas y muestreos estratificados será esencial para garantizar precisión. Por consiguiente, la fracción no renovable de la biomasa ($fNRB$) impacta linealmente el factor de emisión neto, puesto que, su actualización mediante TOOL30 (UNFCCC, 2020) deberá realizarse con información regional sólida reportando intervalos de confianza y análisis de incertidumbre.

Viabilidad operativa y perspectiva de mercado

Desde una óptica operativa, el volumen proyectado cercano a 10.000 tCO_2e en siete años posiciona al proyecto dentro de un rango atractivo para estructuración en el mercado voluntario de carbono. Ahora bien, la rentabilidad final dependerá del precio por tonelada y de los costos asociados a certificación, auditoría en conjunto con la verificación, el volumen estimado sugiere una escala suficiente para cubrir costos transaccionales bajo estándares reconocidos (Gold Standard, 2021).

A pesar del hecho que, la viabilidad económica no debe evaluarse exclusivamente en función del volumen total, sino también considerando la estabilidad anual de generación de créditos. La rampa progresiva de adopción (700 $\rightarrow$ 900 $\rightarrow$ 1.000 hogares) proporciona un crecimiento controlado que reduce riesgos logísticos, aunque implica una menor generación inicial de reducciones. Por lo que, esta estrategia, si bien prudente, exige planificación financiera adecuada durante los primeros años del proyecto.

Por lo tanto, los resultados obtenidos son ambientalmente relevantes, metodológicamente coherentes y matemáticamente trazables, aunque, su materialización efectiva dependerá de tres condiciones esenciales: (i) la calidad del levantamiento empírico de la línea base real; (ii) la actualización periódica del valor de $fNRB$ con base en evidencia local; y (iii) la implementación rigurosa de un sistema MRV que permita detectar desviaciones y aplicar ajustes correctivos oportunos. En consecuencia, la cifra acumulada de 9.410,94 tCO_2e no debe interpretarse como una promesa estática, sino como una proyección técnicamente fundamentada cuya validez definitiva se consolidará únicamente en fase de ejecución, , esta postura crítica, lejos de debilitar el proyecto, fortalece su credibilidad académica y su integridad ambiental, al reconocer la incertidumbre inherente y establecer mecanismos para su reducción progresiva.

Valor económico potencial de las reducciones de emisiones

La cuantificación de reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) no solo constituye un ejercicio técnico de estimación ambiental, sino que también representa la base para determinar el potencial de generación de ingresos en el marco del mercado voluntario de carbono. Conviene subrayar que, el presente apartado desarrolla una estimación ex ante del valor económico potencial asociado a las reducciones proyectadas de 9.410,94 tCO₂e en un horizonte de siete años, con el fin de evaluar su contribución relativa a la sostenibilidad financiera del proyecto.

Por lo que, es importante precisar que este análisis no supone una garantía de comercialización ni un precio fijo futuro, dado que el mercado voluntario de carbono se caracteriza por alta volatilidad, segmentación por tipo de proyecto y diferenciación por estándares de certificación. Por lo tanto, el ejercicio se formula bajo un enfoque prudente, considerando escenarios de precio conservador, base y optimista, coherentes con rangos observados históricamente en proyectos de cocinas limpias bajo estándares internacionales como Gold Standard o Verra (World Bank, 2023).

Supuestos de precio en pesos colombianos (COP)

Con base en precios observados en el mercado voluntario para proyectos de cocinas limpias, se establecen tres escenarios de precio por tonelada expresados en pesos:

- **Escenario conservador:** \$24.000 /tCO₂e
- **Escenario base:** \$32.000 /tCO₂e
- **Escenario optimista:** \$40.000 /tCO₂e

Cálculo del ingreso bruto potencial acumulado

El ingreso acumulado se calcula mediante:

$$\text{Ingreso} = \text{Reduccion acumuladas} * \text{Precio por tonelada}$$

Dado que las reducciones totales proyectadas ascienden a 9.410,94 tCO₂e en siete años

Tabla 14. Valor económico potencial acumulado (7 años)

Escenario	Precio (COP/tCO ₂ e)	Ingreso acumulado (COP)
Conservador	24.000	225.862.560
Base	32.000	301.150.080
Optimista	40.000	376.437.600

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, incluso bajo el escenario optimista, el ingreso acumulado proyectado no supera los 380 millones de pesos colombianos en siete años.

Comparación con la inversión total del proyecto

En el análisis financiero del capítulo anterior se estimó una inversión total aproximada de 1.960.000.000 incluyendo costos de implementación de estufas y sistema MRV durante el periodo crediticio. Por ello, para determinar la proporción de recuperación potencial vía ingresos por carbono, se aplica la siguiente relación:

$$\text{Cobertura (\%)} = \frac{\text{Ingreso acumulado}}{\text{Inversión total}} * 100$$

Los resultados se evidencian en la siguiente tabla

Tabla 15. Porcentaje de cobertura de inversión mediante ingresos de carbono

Escenario	Ingreso acumulado (COP)	Cobertura sobre inversión total
Conservador	225.862.560	11,50%
Base	301.150.080	15,40%
Optimista	376.437.600	19,20%

Fuente: Elaboración propia

Los resultados evidencian que los ingresos por carbono cubrirían entre el 11% y el 19% de la inversión total, confirmando que el proyecto no puede depender exclusivamente del mercado voluntario para su sostenibilidad financiera.

Precio de equilibrio en pesos colombianos

Con el fin de estimar el precio por tonelada necesario para recuperar la inversión total exclusivamente mediante ingresos por carbono, se calcula el precio de equilibrio:

$$Precio_{equilibrio} = \frac{1.960.000.000}{9.410,94}$$

$$Precio_{equilibrio} = 208.300 / tCO_2e$$

Ahora bien, este valor equivale a aproximadamente 208 mil pesos por tonelada, cifra que supera ampliamente los precios actuales observados en el mercado voluntario nacional e internacional. Por consiguiente, el proyecto no alcanza autosuficiencia financiera bajo el esquema exclusivo de comercialización de créditos de carbono.

Análisis de sensibilidad frente al precio del carbono

Dado que el precio por tonelada es una variable exógena al proyecto, se realiza un análisis adicional considerando escenarios ampliados.

Tabla 16. Sensibilidad del ingreso acumulado frente a variación del precio

Precio (COP/tCO₂e)	Ingreso acumulado (COP)	Cobertura inversión (%)
24.000	225.862.560	11,50%
32.000	301.150.080	15,40%
40.000	376.437.600	19,20%
60.000	564.656.400	28,80%
80.000	752.875.200	38,40%

Fuente: Elaboración propia

Aun en un escenario de 80.000 COP por tonelada, el proyecto solo cubriría el 38 % de la inversión total, lo que reafirma la necesidad de fuentes complementarias de financiación.

Los resultados permiten establecer varias conclusiones estratégicas:

- El mercado voluntario de carbono representa un mecanismo de cofinanciación parcial, mas no una fuente suficiente de recuperación total.
- La viabilidad económica depende de esquemas mixtos que integren subsidios públicos, cooperación internacional y eventualmente aportes de responsabilidad social empresarial.
- La optimización del sistema MRV y la reducción de costos administrativos pueden mejorar significativamente la relación inversión/ingreso.
- El fortalecimiento de co-beneficios sociales verificables podría permitir acceder a precios diferenciados en nichos específicos del mercado voluntario.

En este sentido, el valor económico del carbono debe interpretarse como incentivo complementario que fortalece la estructuración financiera, pero no como eje único de sostenibilidad.

Consideraciones estratégicas de mercado

De modo que se debe reconocer que el mercado voluntario de carbono atraviesa procesos de ajuste regulatorio y exigencias crecientes de integridad ambiental. En este contexto, proyectos que demuestren rigurosidad metodológica, control del stacking, actualización periódica del valor de fracción no renovable (fNRB) mediante TOOL30 (UNFCCC, 2020) y un sistema robusto de MRV (UNFCCC, 2021) tienen mayores probabilidades de mantener credibilidad y posicionamiento competitivo. Aunque, asumir precios superiores sin respaldo contractual constituiría una sobreestimación incompatible con un análisis académico de factibilidad.

Plan de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV)

Objetivo del MRV

El Plan de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) tiene como propósito garantizar la cuantificación precisa, transparente y verificable de las reducciones de emisiones generadas por el proyecto de cocinas limpias, asegurando coherencia con metodologías tipo AMS-II.G (UNFCCC, 2022) y lineamientos del Gold Standard TPDDTEC (Gold Standard, 2021). En términos operativos, el MRV busca transformar los supuestos ex ante en mediciones observacionales robustas, reduciendo progresivamente la incertidumbre y fortaleciendo la integridad ambiental del proyecto.

De manera complementaria, el MRV cumple una función estratégica: asegurar trazabilidad documental, respaldar procesos de verificación externa aparte de permitir ajustes adaptativos cuando se identifiquen desviaciones en parámetros críticos como consumo base (FC_{BL}), o fracción desplazada (f_d).

Parámetros a monitorear

El sistema MRV se estructura en torno a cuatro grupos de variables fundamentales:

a) Variables energéticas y ambientales

- Consumo de leña por hogar (línea base y escenario con proyecto).
- Fracción desplazada del fogón tradicional (*stacking*).
- Número de hogares activos con estufa funcional.
- Factor de supervivencia operativa anual.

b) Variables de uso tecnológico

- Frecuencia y duración de uso de la estufa mejorada.
- Uso simultáneo de tecnologías tradicionales o GLP.

- Incidencia de fallas técnicas o inactividad.

c) Variables sociales complementarias

- Tiempo destinado a recolección de leña.
- Percepción de humo en la cocina.
- Nivel de satisfacción del hogar.

d) Variables administrativas

- Registro de instalaciones.
- Mantenimientos realizados.
- Quejas y tiempos de respuesta.

Procedimientos de monitoreo

El monitoreo se implementará mediante un esquema secuencial y documentado, conforme a protocolos internacionales de cocción limpia (ISO, 2019).

Actualización de listado de hogares

- **Qué:** Actualizar base de datos de hogares participantes y estado de la estufa (activa, en reparación, retirada).
- **Quién:** Equipo social con apoyo de la Junta de Acción Comunal (JAC).
- **Frecuencia:** Semestral.
- **Formulario:** F-LIST-01.

Este proceso garantiza consistencia en el cálculo del número de hogares efectivos (H_7).

Campañas KPT (Kitchen Performance Test)

- **Qué:** Medición del consumo de leña mediante pruebas de tres días (pesaje antes/después).
- **Quién:** Equipo técnico de campo capacitado.

- **Frecuencia:** Dos campañas por año y por estrato.
- **Formulario:** F-KPT-01.

Las pruebas permitirán actualizar FC_BL y consumo con proyecto, reduciendo incertidumbre paramétrica (ISO, 2019).

Sensores de uso (SUMs)

- **Qué:** Instalación de termologgers para registrar curvas térmicas y verificar uso real.
- **Quién:** Equipo técnico y responsable de base de datos.
- **Frecuencia:** Rotación y descarga semestral.
- **Formulario:** F-SUM-01 + archivo digital de respaldo.

Los SUMs permiten estimar la fracción desplazada real (f_d) y validar coherencia con encuestas.

Encuestas estructuradas

- **Qué:** Aplicación de encuestas sobre uso, mantenimiento, satisfacción y percepción de humo.
- **Quién:** Equipo social.
- **Frecuencia:** Semestral.
- **Formulario:** F-ENC-01.

Ahora bien, este instrumento complementa la información cuantitativa y permite análisis socioambiental.

Registro de quejas y atención

- **Qué:** Recepción y seguimiento de quejas o solicitudes.
- **Quién:** Punto focal JAC + enlace del proyecto.
- **Frecuencia:** Registro continuo; revisión mensual.

- **Formulario:** F-QUE-01.

La trazabilidad de quejas contribuye al control del fenómeno de abandono tecnológico.

Tabla 17. Frecuencia consolidada de medición

Variable	Instrumento	Frecuencia
Consumo de leña	KPT	2 veces/año
Uso real	SUMs	Descarga semestral
Número de hogares activos	Listado administrativo	Semestral
Indicadores sociales	Encuestas	Semestral
Quejas y mantenimiento	Registro administrativo	Continuo

Fuente: Elaboración propia

Instrumentos utilizados

El paquete metodológico combina:

1. **KPT (Kitchen Performance Test)** – Medición directa de consumo.
2. **SUMs (Stove Use Monitors)** – Verificación de uso real.
3. **Encuestas estructuradas digitales** – Información contextual.
4. **Registros administrativos digitales georreferenciados.**
5. **Plantilla anual de reporte INF-MRV-01.**

La triangulación metodológica fortalece la confiabilidad de resultados (ISO, 2019).

Gestión y almacenamiento de datos

Todos los datos serán almacenados en un repositorio digital seguro con identificadores anónimos por hogar. Por lo que, se implementarán respaldos trimestrales y controles de acceso restringido. Las bases de datos incluirán:

- Código único por hogar.

- Fecha de instalación.
- Historial de mantenimiento.
- Resultados KPT y SUMs vinculados.

La conservación mínima de registros será de 7 años o conforme a requisitos del estándar aplicable (Gold Standard, 2021).

Procedimiento de reporte

El reporte anual seguirá los siguientes pasos:

1. Consolidación de bases de datos.
2. Revisión de coherencia y validación interna.
3. Cálculo actualizado de ER_{γ} .
4. Estimación de incertidumbre agregada (95 % IC).
5. Elaboración del informe INF-MRV-01.

El informe incluirá actualización de parámetros críticos, análisis comparativo con año anterior y justificación de variaciones (UNFCCC, 2021).

Procedimiento de verificación externa

La verificación se realizará por un tercero independiente acreditado bajo el estándar correspondiente. El proceso incluirá:

- Revisión documental del MRV.
- Auditoría de muestra de hogares.
- Verificación de trazabilidad de datos.
- Validación del cálculo de ER_{γ} .

La entidad verificadora podrá solicitar re-mediciones o ampliación de muestra si identifica inconsistencias (UNFCCC, 2022).

Control de calidad y auditoría interna (QA/QC)

El sistema de aseguramiento de calidad contempla:

- Re-encuestas ≥ 10 % de la muestra.
- Calibración periódica de balanzas y SUMs.
- Cruces de coherencia entre KPT y SUMs.
- Registro documentado de exclusiones de datos.
- Ampliación muestral si un parámetro domina la varianza.

Cabe destacar que, el principio rector será la prudencia metodológica: ante duda razonable, se aplicará el valor más conservador y se documentará su impacto (UNFCCC, 2021).

Por lo tanto, el presente Plan MRV trasciende una descripción conceptual y se configura como un sistema metodológico integral que articula medición directa, verificación tecnológica y control administrativo. Ahora bien, su diseño permite transformar supuestos ex ante en resultados empíricamente sustentados, garantizando integridad ambiental, trazabilidad y credibilidad ante procesos de certificación. Conviene subrayar que, la eficacia del proyecto dependerá, en última instancia, de la implementación rigurosa de este sistema, particularmente en el control del fenómeno de stacking, la actualización de parámetros críticos y la reducción progresiva de incertidumbre mediante evidencia observacional (UNFCCC, 2020); (UNFCCC, 2021); (UNFCCC, 2022); (Gold Standard, 2021); (ISO, 2019).

Indicadores Sociales y de Desarrollo Sostenible

Identificación de impactos sociales potenciales

El proyecto de cocinas limpias, además de generar reducciones de emisiones cuantificables, produce impactos sociales y de bienestar que deben ser identificados, estructurados y monitoreados bajo un enfoque sistemático. En este sentido, la intervención incide principalmente en cuatro dimensiones: (i) uso del tiempo, (ii) salud intradomiciliaria, (iii) seguridad en la cocina y (iv) empoderamiento de género.

De modo que, la disminución del consumo de leña implica potencial reducción del tiempo dedicado a su recolección, actividad que recae mayoritariamente en mujeres y adolescentes en zonas rurales. En segundo término, la introducción de una estufa mejorada con chimenea reduce la exposición a humo intradomiciliario, lo cual se relaciona directamente con el ODS 3 – Salud y Bienestar. De la misma forma, la mejora en el diseño estructural de la estufa disminuye riesgos de quemaduras y accidentes domésticos. En este contexto, el proceso participativo en la selección y uso de la tecnología puede fortalecer la toma de decisiones por parte de mujeres, contribuyendo al ODS 5 – Igualdad de Género. Por lo que, estos impactos, aunque no forman parte del cálculo de GEI que constituyen salvaguardas sociales y aportes al desarrollo sostenible que deben ser medidos de manera estructurada.

Línea base social (carácter referencial ex ante)

Dado que el proyecto no se encuentra en fase de implementación, no se dispone de datos observacionales de línea base social. En consecuencia, se presenta una caracterización cualitativa referencial basada en literatura sectorial y dinámicas típicas de zonas rurales con uso predominante de biomasa (ISO, 2019; Gold Standard, 2021).

De manera general, en escenarios rurales donde predomina el fogón tradicional:

- El tiempo de recolección puede oscilar entre 30 y 120 minutos diarios.
- La presencia de humo visible durante la cocción es frecuente.
- Los riesgos de quemaduras son mayores debido a exposición directa al fuego.
- Las decisiones tecnológicas no siempre incorporan la voz de las mujeres que cocinan.

Por lo que, estos elementos constituyen la base conceptual sobre la cual se establecen metas de mejora medibles para fase posterior.

Definición técnica de indicadores sociales

La matriz propuesta estructura indicadores medibles, con método claro de levantamiento y frecuencia definida, integrándose al sistema MRV social.

Tabla 18. Matriz de indicadores sociales y ODS asociados

Indicador	ODS Relacionado	Línea Base (Ex Ante Referencial)	Cambio Esperado	Método de Medición	Frecuencia
Tiempo diario de recolección de leña (min/día)	ODS 5, ODS 7	Alta dedicación, principalmente mujeres/adolescentes	Reducción proporcional al menor consumo de leña	Encuesta estructurada (pregunta directa)	Anual
Presencia de humo visible en cocina (días/semana)	ODS 3	Humo frecuente durante cocción	Disminución significativa por uso de chimenea	Encuesta + observación directa	Anual
Percepción de seguridad al cocinar (escala 1–5)	ODS 3, ODS 5	Riesgo percibido medio/alto	Mejora en percepción de seguridad	Encuesta con escala Likert	Anual
Participación de mujeres en decisiones tecnológicas (%)	ODS 5	Participación variable/no sistemática	Incremento en participación documentada	Encuesta + actas de reuniones	Anual

Fuente: Elaboración propia

Metas cuantificables ex ante

Con el fin de dotar al componente social de rigor técnico, se proponen metas indicativas para evaluación futura:

- Reducir en al menos 20 % el tiempo promedio de recolección de leña en hogares participantes.
- Disminuir en al menos 50 % la frecuencia reportada de humo visible en la cocina.
- Incrementar en 1 punto promedio la percepción de seguridad (escala 1–5).
- Garantizar que al menos 70 % de hogares reporten participación activa de mujeres en decisiones relacionadas con la estufa.

Con base en que, estas metas no constituyen resultados observados, sino umbrales de desempeño esperados que orientarán la evaluación ex post.

Relación estructurada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

El proyecto contribuye directamente a los siguientes ODS:

- **ODS 3 – Salud y Bienestar:** reducción de exposición a contaminantes intradomiciliarios.
- **ODS 5 – Igualdad de Género:** redistribución del tiempo y fortalecimiento de participación en decisiones domésticas.
- **ODS 7 – Energía Asequible y No Contaminante:** acceso a tecnologías más eficientes y limpias.
- **ODS 13 – Acción por el Clima:** mitigación de emisiones de GEI.

La integración explícita de estos ODS en la matriz fortalece la alineación estratégica del proyecto con marcos internacionales de sostenibilidad (Gold Standard, 2021).

Sistema de seguimiento social

El seguimiento de los indicadores sociales se integrará al MRV general mediante las siguientes acciones:

1. Inclusión de módulo social en encuestas semestrales.
2. Consolidación anual de indicadores sociales en informe MRV.
3. Análisis comparativo interanual.
4. Documentación de casos cualitativos relevantes.
5. Reporte agregado sin identificación individual.

La frecuencia anual permite observar tendencias sin generar sobrecarga operativa, puesto que, en caso de identificarse retrocesos (por ejemplo, incremento del stacking que limite ahorro de tiempo), se implementarán medidas correctivas como refuerzo de capacitación o ajustes en diseño tecnológico.

Salvaguardas sociales

El proyecto incorpora salvaguardas básicas orientadas a:

- Consentimiento informado previo a instalación.
- Participación voluntaria.
- No discriminación en selección de beneficiarios.
- Canal formal de quejas y atención.
- Protección de datos personales.

Con base en que, estas salvaguardas fortalecen la legitimidad social del proyecto y previenen impactos adversos no intencionados.

Gestión Legal y Anti-doble Contabilidad

Títulos y autorizaciones

La titularidad de las reducciones de emisiones potenciales se asigna a la entidad proponente del proyecto, que actúa como responsable del diseño, el monitoreo y la eventual verificación externa. Para evitar malentendidos con las familias participantes, cada hogar firmaría un Acuerdo de Participación en el que se explique, con lenguaje claro, que la estufa mejorada se instala para su uso cotidiano en la vivienda, que el proyecto está autorizado a realizar mediciones y recopilar datos sobre el consumo de leña y el uso de la tecnología, y que las reducciones de emisiones verificadas se contabilizan a nombre del proyecto. Este acuerdo deja explícito que la participación no modifica la propiedad de la vivienda ni del predio, y que la familia puede retirarse del proyecto si así lo decide, siguiendo un procedimiento simple para registrar la baja y evitar confusiones futuras.

Junto con el acuerdo, se anexaría un consentimiento informado para el manejo de datos personales y para el uso de fotografías y coordenadas de la vivienda con fines de monitoreo, asegurando confidencialidad y uso exclusivamente técnico. En términos prácticos, el proyecto mantendría un expediente por hogar con el acta de instalación de la estufa, la georreferenciación (WGS84), un par de fotos de la cocina (antes y después), el consentimiento firmado y la trazabilidad de mantenimientos o cambios de equipo. Además, se conservaría un registro maestro con el estado de cada estufa (activa, en reparación, reemplazada o retirada) para que la verificación externa pueda seguir el rastro de cada cocina desde los datos en campo hasta el consolidado de emisiones.

Si en algún momento existieran apoyos públicos o donaciones en especie, se documentaría su naturaleza y alcance para que no quede duda sobre los derechos de titularidad

de las reducciones. El propósito es que todas las autorizaciones y documentos queden guardados de manera ordenada, con nombres de archivo consistentes y respaldos digitales, de modo que una auditoría futura pueda revisar las evidencias con facilidad.

Declaraciones de exclusividad y no doble contabilización

Para evitar el doble conteo de reducciones, el proyecto aplica controles en varias capas. En primer lugar, el Acuerdo de Participación incluye una cláusula de exclusividad, donde el hogar declara que no está inscrito en otro proyecto de carbono que reporte reducciones por la misma cocina y se compromete a informar si esto llegara a cambiar. En segundo lugar, cada hogar y cada estufa reciben un identificador único; toda la información de monitoreo, así como la emisión futura de créditos (si llegara a darse), se relaciona con estos IDs y con el periodo de monitoreo específico. Esta trazabilidad permite serializar los créditos en el registro del estándar, dejando un historial claro del volumen, el año (vintage) y la titularidad.

En tercer lugar, antes de incorporar nuevas veredas, se realiza un cribado territorial para verificar si existen otros programas de cocinas limpias con componente de carbono en la zona. Si se encontraran, se excluirían los hogares que ya estén comprometidos o se documentaría la no duplicidad con evidencias (por ejemplo, listados oficiales o declaración del otro implementador). Finalmente, en la parte comercial, la transferencia de créditos se realizaría directamente en el registro del estándar, bajo un esquema de “entrega contra pago”, registrando el comprador y el retiro o uso de los seriales. Con esto se asegura que las mismas toneladas no se reclamen en otro mecanismo y que la huella documental sea clara y verificable.

Un punto práctico importante es la gestión de reemplazos y bajas. Si una estufa se reemplaza por daño o por mejora de modelo, se registra el evento con fecha y motivo, y se mantiene el vínculo con el hogar. Esto evita que, por un error de base de datos, aparezcan “dos

equipos” activos para la misma cocina. De igual manera, si una familia se retira del proyecto, se marca la baja y se actualizan los listados antes de cerrar el periodo de monitoreo, de modo que la verificación externa reciba datos consistentes con la realidad en campo.

Consideraciones Art. 6

Aunque este proyecto se concibe para el mercado voluntario, es útil discutir de forma académica qué ocurriría si se buscara transitar hacia el Artículo 6 del Acuerdo de París. En ese escenario, las reducciones transferidas internacionalmente se convierten en ITMOs, lo que exige una autorización expresa de la autoridad nacional competente y la aplicación de ajustes correspondientes en la contabilidad del país. Dicho de forma sencilla, si Colombia “exporta” esas toneladas, debe restarlas de su propio cómputo de la NDC para que no se cuenten a la vez en el país y por el comprador extranjero. Esto añade complejidad administrativa, coordinación con el registro nacional y, probablemente, costos adicionales de reporte.

Para un ejercicio académico y ex ante como este, la recomendación es mantener el foco en el mercado voluntario, con un estándar reconocido y una narrativa social sólida. Si a futuro el país habilita canales Art. 6 para proyectos de cocción limpia y existen compradores interesados en ITMOs, se podría evaluar una ruta de transición. En cualquier caso, el criterio rector seguirá siendo evitar doble uso y asegurar que la contabilidad de emisiones sea transparente y compatible con las metas nacionales.

Plan Comercial y Estrategia de Mercado

Programa de emisión (vintages), expectativa de precio y canal (voluntario)

El proyecto organizaría la emisión de créditos por periodos de monitoreo anuales (vintages), en línea con el plan de MRV y la rampa de adopción. La idea es cerrar cada año calendario con los datos de hogares efectivos, consumo evitado y factores aplicables, y luego pasar a la verificación externa durante el siguiente semestre. Bajo esta secuencia, un primer periodo de monitoreo abarcaría el Año 1, con verificación en el segundo trimestre del Año 2 y emisión estimada en el tercer trimestre del mismo año; el Año 2 seguiría un patrón similar con verificación y emisión en el Año 3, y así sucesivamente. Este calendario deja un margen suficiente para procesar datos, atender aclaraciones del verificador y mantener la calidad de la evidencia por encima de la rapidez.

En cuanto al canal, la ruta natural es el mercado voluntario de carbono (VCM), priorizando estándares que valoran proyectos de cocción limpia con beneficios sociales, de salud y de género. La formación de precio depende de varios factores: integridad del proyecto (estándar, MRV, verificación), historia y co-beneficios (por ejemplo, indicadores de ODS), percepción de escasez y el vintage. Una estrategia razonable podría combinar un contrato a futuro (offtake) con un comprador ancla —que asegure ingresos mínimos para cubrir MRV y acompañamiento a los hogares— y una venta spot del remanente si las condiciones de mercado son favorables. En todo caso, el proyecto definiría un precio piso interno que cubra costos y proteja la continuidad del servicio técnico y de la atención de quejas.

Para hacer el flujo sostenible, es útil reservar un colchón interno de emisión (por ejemplo, 5–10 %) que compense eventuales ajustes de verificación, fallas de equipos o un stacking mayor

al esperado. Este enfoque conservador da confianza a compradores y minimiza el riesgo de “entrega corta” al momento de transferir los seriales.

Riesgos de mercado

El principal riesgo es la volatilidad del mercado voluntario: cambios económicos, noticias sobre integridad o nuevas guías pueden ralentizar la demanda o presionar los precios a la baja. Para mitigarlo, conviene diversificar sectores y geografías de compradores, y negociar acuerdos marco con volúmenes mínimos repartidos en varios periodos. Otro riesgo es los cambios metodológicos o de criterios del estándar, que podrían alterar factores de emisión o requisitos de monitoreo; aquí la mitigación es mantener un seguimiento regulatorio activo, actualizar procedimientos y prever un margen técnico en las estimaciones.

También existe el riesgo de desempeño (under-delivery): menos adopción real, más averías o uso apilado más alto de lo previsto. El plan para manejarlo combina el colchón interno de emisión, un esquema de mantenimiento preventivo y correctivo con respuesta rápida, y el refuerzo de las capacitaciones para sostener el uso de la estufa nueva. Por último, hay un componente de reputación: si el comprador comunica sus créditos de forma confusa, podría afectar la imagen del proyecto. Para prevenirlo, se incorporan cláusulas contractuales sobre el uso adecuado de la marca y sobre el tipo de afirmaciones permitidas.

Seguro y garantías

En la transacción, la regla práctica es entrega contra pago directamente en el registro del estándar: el traspaso de los seriales ocurre cuando está confirmado el pago, evitando riesgos de contraparte. Cuando el contrato es a futuro, se puede usar una cuenta de escrow o una plataforma confiable que custodie fondos hasta el traspaso, reduciendo la exposición de ambas partes. Otra herramienta es la garantía por hitos: el comprador libera pagos parciales conforme el proyecto

demuestre, por ejemplo, un porcentaje de hogares instalados y validados o la presentación de la verificación. Desde el lado técnico, mantener una reserva voluntaria de créditos y un plan de reemplazo de equipos ayuda a absorber contingencias sin romper compromisos comerciales.

Alineación con buyer claims (VCMI)

Para evitar confusiones y dar confianza, el proyecto pide que los compradores adopten un marco de comunicación compatible con buenas prácticas (por ejemplo, VCMI u otros marcos equivalentes). En términos simples, el comprador debería contar con metas de descarbonización propias y progreso real, usar los créditos como complemento a sus reducciones internas y comunicar con precisión qué compra y qué retira: estándar utilizado, vintage, volumen, número de serial y para qué se usan (neutralizar una fracción residual o ir “más allá de la cadena de valor”). Además, el retiro de los créditos debe ser públicamente trazable en el registro del estándar, de forma que cualquier persona pueda verificar que esas toneladas ya no están disponibles para otra reclamación. Esta alineación reduce el riesgo reputacional para todos y suele reflejarse en mejores condiciones comerciales.

Plan de Trabajo y Presupuesto

Cronograma (tipo Gantt) y roles

El plan de trabajo se organiza en cuatro fases: preparación, implementación escalonada, consolidación y cierre/verificación. La idea es comenzar con acuerdos comunitarios y línea base, pasar a la instalación masiva (primero 700 hogares, luego 200 y finalmente 100), y sostener en paralelo el MRV, el mecanismo de quejas y atención y las salvaguardas sociales. Para no saturar a las familias, priorizamos reuniones en las propias cocinas y coordinamos con la JAC los tiempos de cada vereda. La verificación externa se programa al cierre de cada año monitoreado, dejando margen para revisar datos y responder observaciones. Los roles principales son: Coordinación (dirección general y relación con la JAC), Social (convocatoria, talleres, salvaguardas y quejas), Técnico (instalación, mantenimiento y seguridad), MRV/Datos (KPT, SUMs, encuestas, base de datos), Logística/Compras (adquisiciones, transporte y bodegas) y Legal/Comercial (acuerdos, registro y transacciones de créditos). En la práctica, estos equipos trabajan en tándem: social y técnico entran juntos a las veredas; MRV acompaña con mediciones muestrales; logística asegura insumos; y coordinación mantiene el timón del cronograma.

Horizonte de **36 meses** (12 trimestres). Instalaciones: 700 (Año 1), 200 (Año 2), 100 (Año 3). KPT dos veces por año; SUMs con rotación semestral; verificación a mediados del año siguiente a cada periodo monitoreado.

Tabla 19. Cronograma tipo Gantt (T = trimestre)

Actividad / Fase	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Preparación (acuerdos JAC, plan social, compras)	●	●										
Línea base inicial (KPT/encuestas de referencia)	●	●										
Instalación Fase 1 — 700 hogares		●	●	●	●	●						
Instalación Fase 2 — +200 hogares					●	●	●	●				
Instalación Fase 3 — +100 hogares								●	●	●		
Capacitaciones y salvaguardas (continuas)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
MRV KPT (2 campañas/año)		●		●		●		●		●		●
SUMs (instalación/lectura/rotación semestral)		●		●		●		●		●		●
Mantenimiento/posventa		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Verificación externa y emisión (PM-1, PM-2, PM-3)						●				●		●
Gobernanza y quejas (registro y respuesta)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Fuente: Elaboración propia

Roles:

- **Coordinación:** timonel del plan; aprueba cronograma, reportes y relación institucional.
- **Social:** convoca hogares, lidera reuniones en cocinas, gestiona quejas/sugerencias y salvaguardas.
- **Técnico:** instala estufas y chimeneas, capacita en seguridad y uso, atiende mantenimiento.
- **MRV/Datos:** ejecuta KPT, opera SUMs y encuestas, depura base de datos y prepara anexos.
- **Logística/Compras:** adquiere insumos, programa transporte y bodegas, apoya a campo.
- **Legal/Comercial:** acuerdos con hogares, registro/serialización y soporte a transacciones.

Presupuesto indicativo por componente

Esta es una presupuesta de presupuesto académico de alto nivel, pensado para dimensionar órdenes de magnitud. Los supuestos básicos son: 1.000 hogares con estufa mejorada y chimenea, instalación escalonada 700–200–100; logística local con rutas veredales; MRV con dos KPT por año y SUMs en muestra rotativa; equipo social activo en convocatorias y salvaguardas; y verificación externa anual. Para facilitar lectura, expreso montos en USD (sin impuestos), con 10% de administración y 10% de contingencia como colchones razonables. En una implementación real, estos valores se ajustarían a precios de mercado y a la capacidad local.

Supuestos de costo (referenciales): estufa instalada USD 150/hogar (materiales + mano de obra + chimenea), logística $\approx 12\%$ de la instalación anual, social/salvaguardas USD 20/hogar a lo largo del programa, MRV total USD 36.000 (KPT, SUMs, encuestas, depuración, verificación), gobernanza local USD 15.000 (comités, microfondos, reuniones), legal/registro USD 12.000 (contratos, registro estándar y soporte documental).

Tabla 20. Presupuesto por componente y por año (USD)

Componente	Año 1	Año 2	Año 3	Total
Implementación técnica (estufas + instalación)	105.000	30.000	15.000	150.000
Logística y adquisiciones	12.600	3.600	1.800	18.000
Social y salvaguardas (convocatoria, talleres, quejas, ODS)	14.000	4.000	2.000	20.000
MRV (KPT, SUMs, encuestas, depuración, verificación)	16.000	10.000	10.000	36.000
Gobernanza local y participación (JAC, comités)	6.000	5.000	4.000	15.000
Legal y registro (acuerdos, registro/seriales)	8.000	2.000	2.000	12.000
Subtotal directo	161.600	54.600	34.800	251.000
Administración y coordinación (10%)	16.160	5.460	3.480	25.100
Contingencia/buffer (10%)	16.160	5.460	3.480	25.100
Total anual	193.920	65.520	41.760	301.200

Fuente: Elaboración propia

La mayor parte del presupuesto está en instalación técnica (estufas + chimeneas), seguida por MRV y el componente social/salvaguardas que sostiene la adopción y el cuidado del equipo. La logística acompaña el despliegue por veredas, y los rubros legales y de gobernanza sostienen la trazabilidad y la relación con la comunidad. Los colchones de administración y contingencia dan agilidad y reducen el riesgo de incumplimientos por variaciones de precio, averías o ajustes de verificación.

Tabla 21. Indicadores de costo

Indicador	Valor
Costo total por hogar (1.000 hogares)	≈ USD 301/hogar
Proporción de costos directos vs. overhead (admin + contingencia)	≈ 83% directos / 17% overhead
Peso relativo de MRV sobre el total	≈ 12%
Peso relativo del componente social/salvuardas	≈ 7%

Fuente: Elaboración propia

Si en campo se observa stacking mayor al esperado o fallas por uso, conviene reforzar temporalmente el componente social/posventa y usar parte del buffer para reposiciones. Si la logística encarece por temporada de lluvias, se puede reprogramar micro-rutas y priorizar veredas con mejor acceso ese mes. En todos los casos, el MRV mantiene su frecuencia, porque de ahí dependen tanto la confianza técnica como la futura emisión de créditos.

Tabla 22. Parámetros generales y supuestos ex ante para la determinación de la línea base y cuantificación de GE

Campo	Valor (Rellenar)
Población objetivo (# hogares)	1.000 hogares rurales (veredas de Pacho, Cundinamarca)
Tecnología(s) introducida(s) y vida útil (años)	Estufa mejorada de biomasa con chimenea (ICS); vida útil 7 años (supuesto conservador)
Consumo térmico base (TEC) o consumo combustible base	1,5 t leña/hogar·año (promedio línea base, a ajustar ex post con KPT)
Fracción desplazada (uso apilado/stacking)	0,70 (70%) ex ante (la estufa tradicional queda como apoyo)
fNRB/EF por combustible (fuentes)	fNRB = 0,60 (ex ante, a determinar con TOOL30); EF _{net} = 1,40 tCO _{2e} /t leña (incluye no-CO ₂ por defecto IPCC)
Plan de encuestas (KPT/CSA/WBT) y periodicidad	KPT 2 veces/año (muestras estratificadas, 3 días); SUMs con rotación semestral; CSA/Encuesta de tecnologías semestral; WBT puntual para contraste

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Determinación de parámetros técnicos de la línea base energética y de emisiones

Parámetro	Unidad	Método/Encuesta	Valor línea base	Fuente	Notas
TEC base (o consumo base)	t leña/hogar·año	KPT (pesaje 3 días) + encuestas	1,5	GS-TPDDTEC; IPCC 2006/2019	Ajustar con KPT ex post por estratos de hogar
Dispositivo base	—	CSA / Encuesta de tecnologías + visita	Fogón tradicional a leña sin chimenea	Registros de campo (línea base)	GLP como apoyo ocasional
EF base CO₂/CH₄/BC	tCO ₂ e/t leña	IPCC por defecto + fNRB	EF_net = 1,40	IPCC 2006/2019; GS-TPDDTEC	EF_net incorpora no- CO ₂ ; BC no incluido ex ante
fNRB	fracción	TOOL30 (datos país/region)	0,60 (ex ante)	TOOL30; insumos oficiales	Recalcular con datos oficiales y validación
Uso apilado (baseline)	% eventos	CSA (diario de cocina)	Leña 90% / GLP 10%	Encuesta base	Variación por ingreso/época; ajustar ex post

Fuente: Elaboración propia

Tabla de Cuantificación (ex ante / ex post)

Tabla 24. Estimación anual ex ante de reducciones de emisiones de GEI mediante la ecuación ER_{γ}

Ecuación usada: $ER_{\gamma} = H_{\gamma} \times FC_{BL} \times f_d \times EF_{net}$ con $FC_{BL} = 1,5$ t leña/hogar·año, $f_d = 0,70$, $EF_{net} = 1,40$ tCO₂e/t.

Año	Hogares activos	Fracción	Consumo evitado	EF neto	Incert.	tCO₂e/año	Notas
	(stove-days)	desplazada	(t leña/año)	(tCO₂e/t)	(%)		
Año 1	255.500 (700×365)	0,70	735,0	1,40	10	1.029,0	700 hogares efectivos; ex ante conservador
Año 2	328.500 (900×365)	0,70	945,0	1,40	10	1.323,0	Mayor cobertura; parámetros iguales
Año 3	365.000 (1.000×365)	0,70	1.050,0	1,40	10	1.470,0	Cobertura plena prevista

Fuente: Elaboración propia

Nota metodológica

- **Estándar/Metodología:** Gold Standard **TPDDTEC** (cocción limpia) y guía complementaria tipo **AMS-II. G**; **TOOL30** para **fNRB**; factores por defecto **IPCC 2006/2019** para biomasa tradicional.
- **Supuestos ex ante:** $FC_{BL} = 1,5$ t leña/hogar·año; $f_d = 0,70$ por stacking; $fNRB = 0,60$; $EF_{net} = 1,40$ tCO_{2e}/t leña (incluye no-CO₂). Incertidumbre reportada **10%** por ser estimación previa; se aplicará enfoque conservador en verificación.
- **Conservadurismo:** se usaron valores prudentes y se dejará **buffer interno** si corresponde. Todos los parámetros se **recalibran ex post** con KPT, SUMs, CSA y el cálculo formal de **fNRB** (TOOL30).

Análisis de Riesgos del Proyecto

El presente análisis de riesgos se formula bajo un enfoque preventivo y de factibilidad, reconociendo que el proyecto de cocinas limpias constituye una propuesta ex ante cuya materialización efectiva dependerá de variables técnicas, operativas en conjunto con las financieras que pueden afectar tanto la magnitud de las reducciones de emisiones estimadas como la sostenibilidad económica y social de la intervención. En coherencia con los principios de prudencia metodológica exigidos por estándares internacionales (UNFCCC, 2022); (Gold Standard, 2021), este capítulo identifica los principales riesgos, evalúa su probabilidad e impacto potencial, y propone medidas de mitigación orientadas a evitar la sobreestimación de resultados.

Riesgos metodológicos

Los riesgos metodológicos se relacionan directamente con la cuantificación de reducciones de emisiones y la robustez del sistema MRV.

Subestimación del consumo base (FC_{BL})

Uno de los parámetros críticos en la ecuación de reducción de emisiones es el consumo de leña en línea base. Por lo que, si el consumo real fuera inferior al estimado mediante pruebas KPT, el potencial de reducción se vería disminuido, puesto que, este riesgo puede surgir por variabilidad estacional, sesgos de medición o cambios en patrones de uso durante el monitoreo.

Medida de mitigación: realizar al menos dos campañas KPT por año y estrato, ampliar tamaño muestral si la varianza es alta y documentar condiciones estacionales.

Sobreestimación de la fracción desplazada (f_d)

La fracción desplazada representa el porcentaje del consumo base efectivamente sustituido por la estufa mejorada. El fenómeno de uso simultáneo de tecnologías (stacking)

puede reducir significativamente el impacto real del proyecto. Una sobreestimación de f_d generaría un cálculo inflado de tCO_2e .

Medida de mitigación: uso combinado de SUMs, encuestas y verificación cruzada con consumo medido; aplicación de valores conservadores cuando exista incertidumbre.

Error en el cálculo de la fracción no renovable (f_{NRB})

El valor de f_{NRB} , estimado mediante la herramienta TOOL30 (UNFCCC, 2020), influye directamente en el factor de emisión neto. Una estimación inadecuada o desactualizada puede afectar linealmente el resultado final.

Medida de mitigación: utilizar fuentes oficiales actualizadas, documentar supuestos regionales y reportar rangos de incertidumbre.

Sesgos de muestreo

Un diseño muestral no representativo podría generar errores sistemáticos en la estimación de parámetros clave. Por ejemplo, seleccionar hogares con mayor compromiso podría sobreestimar la adopción real.

Medida de mitigación: aplicar muestreo estratificado aleatorio, documentar reemplazos y mantener trazabilidad completa de la muestra.

Fallas en sensores de uso (SUMs)

Errores técnicos, pérdida de datos o mala instalación de SUMs pueden comprometer la verificación del uso real de las estufas.

Medida de mitigación: calibración periódica, rotación semestral de sensores, respaldo digital de información y controles de calidad cruzados.

Riesgos operativos

Los riesgos operativos están asociados con la implementación en territorio y la sostenibilidad del uso de la tecnología.

Abandono tecnológico

Existe la posibilidad de que algunos hogares abandonen el uso de la estufa mejorada por razones culturales, preferencia por el fogón tradicional o percepción de bajo desempeño.

Medida de mitigación: capacitación práctica intensiva, acompañamiento posventa y fortalecimiento de liderazgo comunitario.

Fallas técnicas

Problemas estructurales, deterioro prematuro o ausencia de repuestos pueden afectar la funcionalidad de la estufa.

Medida de mitigación: selección de modelos validados, garantía del proveedor y mantenimiento preventivo programado.

Baja adopción real

La instalación física no garantiza uso efectivo. La adopción sostenida depende de la aceptación cultural y la adaptación a prácticas culinarias locales.

Medida de mitigación: diseño participativo, adaptación a recetas tradicionales y monitoreo continuo del uso.

Riesgos financieros

Caída del precio del carbono

El mercado voluntario de carbono es volátil. Una reducción significativa en el precio por tonelada disminuiría los ingresos proyectados.

Medida de mitigación: estructurar el proyecto bajo financiamiento mixto y no depender exclusivamente del mercado de carbono.

Costos MRV superiores a lo proyectado

Incrementos en costos de verificación, logística o personal podrían afectar la sostenibilidad financiera.

Medida de mitigación: planificación presupuestal conservadora, economías de escala y optimización del sistema digital de datos.

Consolidación de riesgos

Tabla 25. Matriz de riesgos del proyecto

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Nivel	Medida de mitigación
Subestimación FC_BL	Media	Alto	Alto	Ampliar campañas KPT
Sobreestimación f_d	Media	Alto	Alto	Triangulación SUMs + encuestas
Error en fNRB	Baja	Medio	Medio	Actualizar TOOL30
Sesgo muestral	Media	Medio	Medio	Muestreo estratificado
Fallas SUMs	Media	Medio	Medio	Calibración y rotación
Abandono tecnológico	Media	Alto	Alto	Capacitación continua
Fallas técnicas	Baja	Medio	Medio	Garantía y mantenimiento
Baja adopción	Media	Alto	Alto	Acompañamiento social
Caída precio carbono	Alta	Medio	Alto	Financiamiento mixto
Aumento costos MRV	Media	Medio	Medio	Optimización operativa

Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, el análisis evidencia que los riesgos de mayor criticidad se concentran en la fracción desplazada (f_d), la adopción sostenida de la tecnología y la volatilidad del

mercado de carbono. Con base en que, estos factores pueden afectar de manera directa la magnitud real de las reducciones y la sostenibilidad financiera.

Aunque, la incorporación de un sistema MRV robusto, un enfoque conservador en la estimación ex ante y una estrategia operativa basada en acompañamiento comunitario permiten reducir significativamente la probabilidad de sobreestimación. En consecuencia, el proyecto se presenta como técnicamente viable bajo un esquema prudente de implementación, siempre que las medidas de mitigación aquí descritas sean incorporadas de manera rigurosa durante la fase operativa. Cabe destacar que, este capítulo fortalece el carácter de factibilidad del estudio, al reconocer explícitamente las incertidumbres inherentes en conjunto con el hecho de establecer mecanismos claros para su gestión.

Glosario de parámetros

Tabla 26. Glosario y parámetros

Parámetro	Símbolo	Unidad	Definición operativa	Aplica a	Referencia/Nota
Dióxido de carbono equivalente	CO ₂ e	tCO ₂ e	Unidad común para comparar GEI usando GWP vigentes.	Todos	IPCC 2006/2019 (GWP)
Relación molecular	44/12	—	Conversión de masa de C a CO ₂ (1 t C = 44/12 t CO ₂).	Todos	IPCC
Incerteza relativa	UR	%	Error relativo (p.ej., EE/estimado) usado para deducciones conservadoras.	Todos	IPCC/Metodología
Nivel de confianza	CL	%	Usualmente 90% o 95% para intervalos y ajustes por incertidumbre.	Todos	IPCC/Metodología
Tamaño de muestra	n	entidades	Número de unidades muestreadas por estrato/parámetro.	Todos	Plan de muestreo

Estratificación	—	—	División en subgrupos homogéneos para mejorar precisión.	Todos	Diseño muestral
Actividad de datos	AD	ha·año ⁻¹ / unidades	Dato de actividad (área deforestada, #equipos, etc.).	REDD+, ARR, Cocinas, Biochar	IPCC/Metodologías
Factor de emisión	EF	tCO ₂ e/unidad	Emisiones por unidad de actividad o combustible.	Todos	IPCC/Metodología
Deducción por fuga	Leak	% o tCO ₂ e	Ajuste por desplazamientos indirectos fuera del límite del proyecto.	Todos	Metodología
Cambio de stock de C	ΔC	t C·ha ⁻¹ ·año ⁻¹	Variación anual de carbono en un reservorio.	ARR, REDD+, Manglares, Alta montaña	IPCC AFOLU

Área de proyecto	A	ha	Superficie dentro de límites del proyecto/estratos.	ARR, REDD+, Manglars, Alta montaña	PDD/Cartografía
Línea de base (deforestación)	r_def	%·año ⁻¹	Tasa histórica de deforestación/degradación.	REDD+	BCR-002/Análisis histórico
Periodo de referencia	T_ref	años	Ventana temporal usada para establecer la línea base.	REDD+, ARR	Metodología
Biomasa aérea	AGB	t MS·ha ⁻¹	Biomasa seca sobre el suelo (madera, ramas, hojas).	ARR, REDD+, Manglars, Alta montaña	IPCC/Modelos alométricos
Biomasa subterránea	BGB	t MS·ha ⁻¹	Biomasa seca bajo el suelo (raíces).	ARR, REDD+,	IPCC/Relación raíz-fuste

				Manglares, Alta montaña	
Relación raíz:fuste	RSR	—	Factor para estimar BGB a partir de AGB.	ARR, REDD+, Manglares	IPCC
Densidad de la madera	WD	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Densidad básica de la especie; insumo de ecuaciones alométricas.	ARR, REDD+, Manglares	IPCC/Allometrías
Factor expansión biomasa	BEF	—	Convierte volumen o AGB a biomasa total (o a carbono).	ARR, REDD+	IPCC
Fracción de carbono en biomasa	CF_bio	$\text{t C} \cdot \text{t}^{-1} \text{ MS (\%)}$	Porción de C en la materia seca; típicamente 0,47–0,5.	ARR, REDD+,	IPCC

				Manglares	
DAP/DBH	DBH	cm	Diámetro a la altura del pecho (1,3 m).	ARR, REDD+, Manglares	Inventario forestal
Altura del árbol	H	m	Altura total o comercial; insumo alométrico.	ARR, REDD+, Manglares	Inventario forestal
Densidad aparente suelo	BD	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Densidad aparente de suelo/sedimento para calcular C por volumen.	Manglares, Alta montaña	IPCC/Blue carbon
Carbono orgánico del suelo	SOC	$\text{t C} \cdot \text{ha}^{-1}$	Stock de C orgánico por profundidad (p.ej., 0–30 cm).	ARR, REDD+, Manglares	IPCC

				s, Alta montaña	
Tasa de acumulación de C (sedimento)	CAR	$t\ C \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$	Acumulación anual de C en sedimentos/manglar.	Manglares	GS/Blue carbon
Tasa de acreción	Accr	$mm \cdot año^{-1}$	Incremento vertical de sedimento por año.	Manglares	Blue carbon
Contenido de C orgánico sedimento	OC%_sed	%	% de C orgánico en sedimento (base seca).	Manglares	Blue carbon
Litera	Litter	$t\ C \cdot ha^{-1}$	Carbono en hojarasca y material fino.	ARR, REDD+	IPCC
Madera muerta	Deadwood	$t\ C \cdot ha^{-1}$	Carbono en troncos y ramas muertos.	ARR, REDD+	IPCC
Ecuación alométrica	Allo	—	Relación DBH/altura/WD → biomasa.	ARR, REDD+,	Ecuaciones locales/IPCC

					Manglares
Crecimiento medio anual	MAI	$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$	Incremento anual de volumen/biomasa.	ARR	Silvicultura/IPCC
Consumo base combustible	FC_BL	$\text{t} \cdot \text{hogar}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ o $\text{kg} \cdot \text{día}^{-1}$	Consumo de leña o energía en ausencia de proyecto.	Cocinas	KPT/CSA/WBT
Consumo proyecto	FC_PRJ	$\text{t} \cdot \text{hogar}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$	Consumo de combustible con tecnología introducida.	Cocinas	KPT/CSA/SUMs
Consumo térmico/energético base	TEC_base	$\text{MJ} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{hogar}^{-1}$	Demanda térmica de cocción sin proyecto.	Cocinas	KPT/CSA/WBT
Fracción no renovable de leña	fNRB	%	Porcentaje de biomasa leñosa de origen no renovable.	Cocinas	TOOL30 (GS/CDM)
Fracción desplazada (stacking)	f_stack	%	Proporción del consumo base realmente sustituida.	Cocinas	Encuestas de uso/SUMs

Días–dispositivo	stove-days	días·equipo	Actividad acumulada de equipos en operación.	Cocinas	Registros/encuestas
Tasa de falla/durabilidad	fail_rate	%·año ⁻¹	Proporción de equipos fuera de servicio por año.	Cocinas	Posventa/monitoreo
Factores de emisión por gas	EF_CO ₂ /CH ₄ /N ₂ O/B C	g·MJ ⁻¹ o g·kg ⁻¹	Emisiones específicas por gas; BC si la metodología lo permite.	Cocinas	GS-TPDDTEC/IPCC
Reducciones anuales	ER _γ	tCO ₂ e·año ⁻¹	Toneladas reducidas/removidas por año calendario.	Todos	Metodología/PDD
Hogares efectivos	H _γ	hogares	Hogares con equipo operativo y uso válido en el año.	Cocinas	Registro/MRV
Factor de emisión neto	EF_net	tCO ₂ e·t ⁻¹ combustible	EF integrado (CO ₂ e), considerando fNRB y no-CO ₂ si aplica.	Cocinas	IPCC/GS-TPDDTEC
Biochar — rendimiento	y_biochar	t biochar·t ⁻¹ biomasa	Rendimiento de pirólisis (base seca).	Biochar	Metodologías de biochar
Biochar — C en biochar	C_biochar	% MS	Contenido de C orgánico del biochar.	Biochar	Ensayo elemental

Biochar — fracción estable	f_stable	% del C	Porción recalcitrante que permanece a largo plazo.	Biochar	Pautas Puro.earth / ISO
Índice de estabilidad	H/C_org	—	Relación atómica H/C del C orgánico (calidad/permanencia).	Biochar	Pautas Puro.earth/ISO
Masa biochar aplicada	m_biochar	t	Masa total aplicada/almacenada.	Biochar	Registro proyecto
C secuestrado por biochar	C_seq	tCO ₂ e	m_biochar×C_biochar×f_stable×(44/ 12) ajustado por emisiones del proceso.	Biochar	Metodologías CDR
Emisiones del proceso	E_proc	tCO ₂ e	Emisiones de energía/transporte en la cadena del biochar.	Biochar	Inventario/ISO 14040
Energía co- producida	E_credit	MWh o tCO ₂ e	Crédito por energía útil que desplaza combustibles fósiles.	Biochar	Metodología (si permite)
Alta montaña — herbáceas/arbust os	C_herb/C_shrub	t C·ha ⁻¹	Carbono en biomasa de pajonales/arbustales altoandinos.	Alta montaña (BCR)	BCR/Inventarios locales

Profundidad de muestreo	z	cm	Profundidad de suelo/sedimento muestreada (p.ej., 0–30).	Manglares, Alta montaña	Protocolo de campo
Conversión MS→C	$CF_{MS \rightarrow C}$	$t \text{ C} \cdot t^{-1} \text{ MS}$	Fracción de C en materia seca para insumos no leñosos.	Alta montaña, Manglares	IPCC
Tasa de adopción	$adopt_{\gamma}$	%	Porcentaje de unidades instaladas que entran en uso efectivo.	Cocinas	MRV/encuestas
Supervivencia de equipos	$surv_{\gamma}$	%	Porcentaje de equipos que siguen operativos al año y.	Cocinas	MRV/posventa

Fuente: Elaboración propia

Referencias

Bailis, R., Smith, K., & Edwards, R. (2007). Prueba de desempeño en cocina (KPT) – Protocolo, versión 3 (trad. esp.).

http://sitio.eba.gob.bo/Info/hoa/Documentos/KITCHEN_PERFORMANCE_TEST-KPT-Protocolo4.pdf

Banco Mundial. (s. f.). Marco Ambiental y Social (ESF) – Sección en español. <https://projects.bancomundial.org/es/projects-operations/environmental-and-social-framework>

Clean Cooking Alliance. (2014). Kitchen Performance Test (KPT) Protocol v4.0. <https://www.cleancooking.org/resources/technology/kitchen-performance-test-kpt/>

Clean Cooking Alliance. (2014). Prueba de ebullición de agua (WBT) v4.2.3 – Manual en español. <https://www.cleancooking.org/binary-data/DOCUMENT/file/000/000/401-1.pdf>

Clean Cooking Alliance. (2014). Water Boiling Test (WBT) Protocol v4.2.3. <https://www.cleancooking.org/resources/technology/water-boiling-test-wbt-protocol-version-4-2-3/>

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2011). Evaluación del uso y beneficios de la estufa Patsari. <https://www.conanp.gob.mx>

Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). (2018). Documento CONPES 3943, Política para el mejoramiento de la calidad del aire. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3943.pdf>

DANE. (2023). ECV 2023 – Microdatos y diccionario (uso de combustible para cocinar). <https://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/782/study-description>

DANE. (2023). Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2023 – Comunicado de prensa. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida/calidad-de-vida-ecv/comunicados-de-prensa>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2021). Proyectos Tipo, Guía de formulación – Estufas ecoeficientes. <https://www.dnp.gov.co/programas/proyectos-inversion/Documents/PROYECTOS%20TIPO/Gu%C3%ADa%20de%20formulaci%C3%B3n%20Estufas%20ecoeeficientes.pdf>

FAO. (2020). El estado de los bosques en el mundo 2020 (ed. esp.). <https://www.fao.org/documents/card/es/c/ca8642es>

Gold Standard. (2021). Reduced emissions from cooking and heating—TPDDTEC (Version 4.0). <https://globalgoals.goldstandard.org/407-ee-ics-technologies-and-practices-to-displace-decentralized-thermal-energy-tpddtec-consumption/>

Hernández, J. D. A. (2014). Validación y evaluación comparativa de la eficiencia de una estufa de leña mejorada bajo condiciones controladas y prueba de campo. Informador Técnico, 78(1), 12–24. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4880824.pdf>

IDEAM, MinAmbiente. (2021). Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2019. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Estado-de-la-calidad-del-aire>

IDEAM. (2018). Estrategia Nacional de Calidad del Aire. <https://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/estrategia-nacional-de-calidad-del-aire>

INECC, SEMARNAT. (2009). Estudio comparativo de estufas mejoradas para intervención masiva en México. <https://cleancooking.org/wp-content/uploads/2021/07/98-1.pdf>

International Finance Corporation (IFC). (2012). Normas de Desempeño sobre Sostenibilidad Ambiental y Social (versión oficial en español).

<https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2010/2012-ifc-performance-standards-es.pdf>

ISO. (2018). ISO 19867-1, Clean cookstoves and clean cooking solutions — Harmonized laboratory test protocols — Part 1. <https://www.iso.org/standard/71546.html>

ISO. (2019). ISO 19869, Clean cookstoves and clean cooking solutions — Field testing methods for cookstoves. <https://www.iso.org/standard/71217.html>

Martínez, J. (2018). Niveles de adopción e impacto de una estufa mejorada orientada al financiamiento del carbono. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/jspui/handle/10596/29386?mode=full>

Masera, O., Díaz, R., & Berrueta, V. (2007). Estufas Patsari, diseño, diseminación y evaluación en México. *Energy for Sustainable Development*, 11(2), 45–56. (Resumen y ficha en español) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082608600873>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Lineamientos de estufas mejoradas para cocción con leña. https://archivo.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/mitigacion_/LINEAMIENTOS_ESTUFAS_MEJORADAS_PARA_COCCI%C3%93N_CON_LE%C3%91A.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Lineamientos técnicos para la implementación de estufas eficientes de leña. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2018/10/LINEAMIENTOS-TECNICOS-PARA-LA-IMPLEMENTACION-DE-ESTUFAS-EFICIENTES-DE-LENA.pdf>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2014). Directrices para la calidad del aire de interiores, combustibles de uso doméstico (resumen en español).

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/329238/9789241514934-spa.pdf>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). Directrices de la OMS sobre la calidad del aire, 2021 (resumen). [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/guiaoms2021-spa_tcm30-530942.pdf)

[evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/guiaoms2021-spa_tcm30-530942.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/guiaoms2021-spa_tcm30-530942.pdf)

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (s. f.). Calidad del aire.

<https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>

Pérez, A., et al. (2016). Exposición al humo de leña y EPOC en América Latina, revisión. *Biomédica*, 36(2), 220–229. <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/2877>

Pillarisetti, A., et al. (2014). Patterns of stove use in the context of behavior change. *Energy for Sustainable Development*, 20, 147–158.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082614000390>

Rojas, G., & Sabogal, C. (2010). Estufas mejoradas y bancos de leña, opciones de manejo forestal comunitario. *Colombia Forestal*, 13(1), 5–19.

https://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-21262010000100006

Ruiz, I., Canuz, E., & Smith, K. R. (2013). Temperature dataloggers as stove use monitors (SUMs). *Energy for Sustainable Development*, 17(4), 403–411.

<https://ehs.sph.berkeley.edu/hem/documents/2013%20SUMs%20paper.pdf>

UNFCCC. (2020). TOOL30, Calculation of the fraction of non-renewable biomass (v3.0). <https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-30-v3.0.pdf>

UNFCCC. (2021). Standard, Sampling and surveys for CDM project activities and PoAs (v9.0). https://cdm.unfccc.int/sunsetcms/storage/contents/stored-file-20210531160756223/Meth_Stan05.pdf

UNFCCC. (2022). AMS-I.E, Switch from non-renewable biomass for thermal applications by the user (v13.0). https://cdm.unfccc.int/sunsetcms/storage/contents/stored-file-20220713220633374/MP88_EA14_AMS-I.E_v13.0.pdf

UNFCCC. (2022). AMS-II.G, Energy efficiency measures in thermal applications of non-renewable biomass (v13.0). https://cdm.unfccc.int/sunsetcms/storage/contents/stored-file-20220713220705681/MP88_EA15_AMS-II.G_v13.0.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2015). Plan de sustitución progresiva de leña. https://www1.upme.gov.co/Hidrocarburos/Plan_sustitucion_progresiva_Lena.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2024). Plan Energético Nacional 2024–2054. <https://www1.upme.gov.co/planeamiento-energetico-nacional-2024-2054/>

Valencia López, A. M. (2024). Estufas de cocción a biomasa en Colombia, recomendaciones para la validación a escala de laboratorio. Fondo Editorial EIA. <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/bb8286e5-d16d-4c78-bf8e-2ebfe5759572>

World Bank, ESMAP. (2020). The State of Access to Modern Energy Cooking Services. <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/35b87d5c-3865-5cf4-8f3f-180a3ac51fb6/content>