

Proyecto IKI-PNUMA – Parte II

Avanzando y midiendo consumo y producción sostenible para
una economía baja en carbono en economías de ingresos
medios y nuevos países industrializados en Perú

Actividad 8: Contribuciones Nacionales y NAMA

Reporte Final

**Red Peruana Ciclo de Vida y Ecología Industrial -
PELCAN**

Departamento de Ingeniería

Pontificia Universidad Católica del Perú

Kurt Ziegler Rodriguez

Ian Vázquez Rowe

Lima, 29 de mayo de 2019

1. Descripción de la Actividad

La Actividad 8 de la segunda fase del proyecto IKI tiene como misión vincular los resultados de Inventario de Ciclo de Vida y ACV obtenidos para los sectores prioritarios con las NAMA y NDC. Se buscó la coordinación con las Actividades 4, 5 y 6 del mismo proyecto (Tabla 1), con el fin de entender como la información de ciclo de vida generada en estas actividades puede ayudar a revisar y mejorar el contenido de las NAMA de residuos y energía desarrolladas en el país. Los resultados de esta actividad se integraron en las mesas sectoriales de revisión continua de las NAMA y los NDC con el objetivo de fortalecer la estructura y contenido de las NAMA. Se desarrolló un informe con recomendaciones de mejora de las NAMA incluyendo un análisis de costo-beneficio de las mismas. Inicialmente, se plantearon reuniones bilaterales con miembros del Ministerio del Ambiente (MINAM) para canalizar los avances de las actividades anteriormente mencionadas y fijar estrategias de integración en la política global. Posteriormente, se analizarán estrategias de apoyo a las mesas sectoriales. Esta actividad incluyó la elaboración y publicación de un artículo científico analizando la importancia del pensamiento de ciclo de vida y las metodologías de ciclo de vida en el apoyo de las políticas públicas de mitigación de gases de efecto invernadero. Los resultados del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se alinean con acciones encaminadas a conseguir la reducción de las emisiones en al menos un 10%.

Tabla 1. Listado de las actividades articuladas con la Actividad 8.

Actividad 4 – Centrales hidroeléctricas
Actividad 5 – Rellenos sanitarios
Actividad 6 – Refinerías

2. Glosario

- Contribuciones Nacionalmente Determinadas – NDC. Las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) son un compromiso de la comunidad internacional para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, acorde con la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y no exceder los 2 grados centígrados de temperatura en el planeta respecto a la época preindustrial.
- Nationally Appropriate Mitigation Actions – NAMA. Las NAMA son un conjunto de actividades factibles definidas de manera soberana por un país y que conducen a reducir emisiones de una manera medible, reportable y verificable. Se llaman así por sus siglas en inglés: *Nationnally Appropriate Mitigation Action* (acción de mitigación apropiada a cada país).

3. Actividades de inicio de la Actividad 8

La Actividad 8 de la segunda fase del proyecto IKI dio comienzo a mediados de enero de 2018. El grupo de investigadores de la Red Peruana Ciclo de Vida y Ecología Industrial (PELCAN, por sus siglas en inglés) que integra esta actividad está conformado por los profesores Ian Vázquez Rowe y Ramzy Kahhat, y por los investigadores Kurt Ziegler Rodríguez, Gustavo Larrea y Eduardo Cancino.

El grupo de trabajo comenzó sus actividades analizando el desarrollo metodológico y de resultados desarrollado en el marco del proyecto IKI en las actividades 4, 5 y 6. Estas tres actividades se corresponden con el desarrollo de inventarios de ciclo de vida y su posterior evaluación ambiental a través de la metodología de ACV para tres sectores prioritarios específicos en el contexto peruano: centrales hidroeléctricas, rellenos sanitarios y productos de refinería.

Posteriormente, se contactó con Giannina Ibarra y Ricardo Estrada, ambos personal técnico del MINAM, quienes facilitaron acceso a la versión revisada del Informe de la Comisión Multisectorial que supervisa los avances en materia de cambio climático del Perú (MINAM, 2015). Dicho documento constituye el principal documento de referencia para obtener información sobre las acciones específicas en mitigación de impactos ambientales, a través de NDC y/o NAMA que plantea la República del Perú en su estrategia de lucha contra el cambio climático en el marco del Acuerdo de París.

El día 13 de febrero de 2018 se llevó a cabo una reunión entre el MINAM, PELCAN y ONU Medio Ambiente. La lista de participantes se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Listado de participantes en la reunión entre MINAM, PELCAN y ONU Medio Ambiente de planificación estratégica de la Actividad 8.

Nombre	Afiliación
Manuel Rosell	MINAM
Elizabeth Escobar	MINAM
Ricardo Estrada	MINAM
Ian Vázquez Rowe	PELCAN – PUCP
Eduardo Cancino	PELCAN – PUCP
Kurt Ziegler	PELCAN – PUCP
Ignacio Sánchez	ONU – Medio Ambiente

En dicha reunión, las tres partes acercaron posturas con respecto a las acciones estratégicas a seguir en esta actividad. En primer lugar, la reunión sirvió para contrastar métodos de medición entre PELCAN a través de herramientas de ciclo de vida, particularmente ACV, y MINAM, a través de los mecanismos que marca el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), como son los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDLs) del Protocolo de Kyoto o los Mecanismos de Medición, Reporte y Verificación (MRVs). En este sentido, a pesar de que se visualizaron diferencias metodológicas importantes, sobre todo desde una perspectiva espacio-temporal, también se identificaron sinergias que podrían permitir a las herramientas de ciclo de vida dar soporte en las

contribuciones nacionales. Más específicamente, algunas de las oportunidades identificadas incluyen la identificación de impactos ocultos en la cadena de suministro transnacional que se genera en los distintos sectores productivos, así como la asignación temporal de los impactos ambientales. Asimismo, el perfil holístico e integrador del ACV permite evaluar si reducciones de emisiones de GEI también generan reducciones en otros compartimentos ambientales (por ejemplo, eutrofización o toxicidad), o si, por el contrario, se genera un efecto antagónico.

Como principales conclusiones de la reunión se acordó seguir la comunicación entre las partes y elevar las observaciones y resultados de las actividades 4 y 5 a la Directora General de Calidad Ambiental del MINAM, Giuliana Becerra. La reunión con dicha autoridad se llevó a cabo el día 26 de marzo de 2018. En dicha reunión los profesores Ian Vázquez y Ramzy Kahhat presentaron los principales avances de las actividades 4 (Centrales Hidroeléctricas) y 5 (Rellenos Sanitarios) del proyecto, así como su relevancia en la estrategia peruana de mitigación de gases de efecto invernadero.

El martes 3 de julio de 2018 se desarrolló una reunión en las instalaciones del MINAM con la presencia del viceministro Marcos Alegre, y con la presencia también de dos representantes de ONU Medio Ambiente: Beatriz Carneiro e Ignacio Sánchez. En dicha reunión se identificó un especial potencial con los resultados de rellenos sanitarios, estableciendo que sería de especial interés analizar la incidencia que podría tener la metodología de ACV en el cálculo de emisiones de rellenos sanitarios proyectados en el

país. En este sentido, se estableció que se celebraría una reunión con miembros de la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos para avanzar en esta línea. Por otra parte, se identificaron aspectos concretos metodológicos de cómo se calculan y reportan las emisiones de GEI dentro de la metodología de ACV y las implicancias y sinergias que se podrían establecer con los métodos usados por el MINAM.

En diciembre de 2018 se consiguió la publicación de un artículo científico en una revista indexada internacional (*Science of the Total Environment*), en la que se hace un análisis crítico de la propuesta peruana de contribuciones nacionales y el rol de las herramientas de ciclo de vida en su implementación. Este artículo está incluido como anexo de este reporte.

Finalmente, no fue posible realizar una presentación de resultados ante el GTM. Sin embargo, sí se participó en las jornadas de presentación de las NDC finales que se aplicarán en el Perú, celebrado los días 22 y 23 de enero de 2019. En dichas jornadas se pudo conversar con diversos actores del sector público y se les hizo llegar la publicación elaborada en el marco de la actividad.

5. Actividades de diseminación previstas en el marco de la Actividad 8

5.1 Conferencias

La participación en conferencias nacionales e internacionales es un eje importante en la diseminación de resultados del proyecto. En este sentido, se busca poder transmitir los resultados del proyecto a un público de carácter científico y obtener retroalimentación de dicho grupo. La Tabla 3 presenta la conferencia en 2019 en la cual los investigadores de

PELCAN tienen programado participar. En este sentido, CILCA 2019 es considerado clave debido a su importancia en la región Latinoamérica – Caribe a la hora de diseminar conocimientos ligados a herramientas de ciclo de vida. Además, la participación en dicha conferencia podría ser, al igual que en otras conferencias, un resorte para encontrar nuevas opciones de financiación como “*follow up*” para el proyecto IKI.

Tabla 3. Listado de conferencias en las que se pretende participar a través de presentaciones orales o escritas relacionada con el proyecto en los próximos meses, para las cuales todavía no hay una confirmación oficial.

Nombre	Lugar	Fechas
CILCA 2019	San José, Costa Rica	Junio 2019

5.2 Publicaciones científicas

Las publicaciones científicas en revistas indexadas son importantes para que los tomadores de decisiones tengan una validación científico-técnica en las cuales apoyar sus decisiones. En este sentido, se buscó poder publicar todos aquellos resultados que tengan relevancia en la comunidad científica. En el marco de Actividad 8 se envió y publicó un manuscrito en una revista internacional indexada en diciembre de 2018 (ver Tabla 4).

Tabla 4. Listado de publicaciones científicas programadas.

Título	Revista	Indexada	Actividad	Observaciones
<i>Peru's road to climate action: Are we on the right path?</i> <i>The role of life cycle methods to improve Peruvian national contributions</i>	<i>Science of the Total Environment</i>	Sí	Actividad 8	Publicada

Si bien el público objetivo con estas publicaciones es la comunidad científica internacional, también consideramos importante que este tipo de publicaciones se difundan en el contexto nacional, con mayor hincapié en los ministerios de los que dependan los sectores analizados, así como las empresas del sector. El mensaje que se quiere transmitir en estas publicaciones es de rigor científico a la hora de reportar los impactos ambientales de los sectores productivos o productos de compras públicas analizados. Esto irá acompañado de una reflexión a profundidad de qué estrategias se pueden llevar a cabo a nivel nacional, regional o corporativo para mitigar los impactos ambientales, con especial hincapié en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

5.3 Vídeos divulgativos

Se ha establecido como uno de los indicadores de éxito del proyecto la producción de un vídeo divulgativo. En este sentido, se han generado dos vídeos divulgativos relacionados con la actividad de rellenos sanitarios (Actividad 5). Sin embargo, debido a la interrelación entre la Actividad 5 y la Actividad 8, dicho vídeo incluye información sobre las NDC peruanas en el sector de rellenos sanitarios, y cómo el presente estudio (actividad) ha ayudado en la identificación de estrategias de mejora en el refinamiento de los resultados asociados a las NDC.

5.4 Informes de las actividades realizadas

Cada actividad realizada en el marco del proyecto lleva asociada un reporte final en el que se detallan los resultados obtenidos. Si bien no todas las actividades tienen un interés

científico o técnico, ya que se refieren a actividades administrativas o de gestión dentro del proyecto, consideramos que las que sí tienen un corte técnico pueden ser usadas para diseminación a través de los cauces digitales existentes: página web de PELCAN (<http://red.pucp.edu.pe/cicludevida/>) o página web de ONU Medio Ambiente (<http://www.oneplanetnetwork.org>).

6. Sectores prioritarios y resultados

Los estudios realizados a los sectores prioritarios proporcionaron una serie de resultados de gran utilidad para las NDC y NAMA propuestas por el MINAM. Con ello en mente, se puso en evidencia parte del marco normativo existente actual que soporta estas acciones y se vinculó con los resultados obtenidos. En este contexto, es fundamental hacer mención a la Ley Marco sobre Cambio Climático, publicada el 18 de abril de 2018. Dicha ley tiene como objetivo establecer principios fundamentales y transversales al gobierno de modo que se puedan gestionar de manera integral diversas políticas públicas relacionadas a la adaptación y mitigación del cambio climático (El Peruano, 2018). Asimismo, dicha ley surge debido a la vulnerabilidad del país al cambio climático, y como oportunidad para generar un desarrollo bajo en carbono luego de la firma del Acuerdo de París. A continuación, se detallan las medidas existentes y conclusiones a las que se llegó para cada sector, así como las recomendaciones para cada propuesta.

6.1 Centrales hidroeléctricas

Este sector prioritario forma parte del sector energético del país, y su importancia radica en el gran porcentaje de electricidad que aporta a la matriz eléctrica, con más del 40% del total. Si bien históricamente las emisiones de GEI medidas en g CO₂eq por kWh en el sector eléctrico siempre se han mantenido por debajo de 350 g, a lo largo de los últimos años ha habido una tendencia incremental debido a la industrialización del país y al incremento en el uso de gas natural como fuente de generación de energía termoeléctrica (Vázquez-Rowe et al., 2015). Afortunadamente, dicha tendencia se ha desacelerado no solo debido a la ralentización del crecimiento económico del país, sino también por una serie de políticas públicas impulsadas por los gobiernos de Humala, Kuczynski y Vizcarra.

En el año 1992 se publica la Ley de Concesiones Eléctricas, la cual crea y establece institucionalmente el mercado eléctrico. Posteriormente, en 2006 se promulga la Ley de Generación Eficiente. Esta fomenta licitaciones a mediano y largo plazo para poder dar soporte a la inversión a gran escala, como lo serían las grandes centrales hidroeléctricas. Luego, el Decreto Legislativo N° 1002, promulgado en 2008, declara de interés y necesidad pública la generación eléctrica mediante fuentes renovables. Por último, se crea la Política Energética Nacional del Perú 2010 – 2040, publicada mediante el decreto supremo N° 064-2010-EM el 24 de noviembre de 2010, la cual, entre otras cosas, establece que se deberá contar con una matriz energética diversificada y con énfasis en las energías renovables y la eficiencia energética. Con ella se determina que se deberá desarrollar un sector energético bajo en emisiones de GEI y con mínimos impactos ambientales.



Es en este contexto que en los años más recientes ha habido importantes inversiones en energías renovables. A día de hoy existen 5 plantas de generación de energía solar, las cuales cuentan con una potencia efectiva total de 220 MW, y 5 plantas eólicas, con una potencia efectiva de 375 MW en total (COES, 2018). Siguiendo la misma línea, el gobierno se ha visto interesado en incrementar del mismo modo las centrales hidroeléctricas en el país por su alto potencial de generación energético bajo en emisiones de carbono. El estudio de ACV llevado a cabo en el marco del presente proyecto determinó que la generación eléctrica en este tipo de plantas energéticas, de estar ubicadas en la zona andina, generaban un impacto de menos de 3 g CO₂eq por kWh, cifra muy inferior a otras tecnologías renovables como las mencionadas anteriormente (Verán-Leigh y Vázquez-Rowe, 2019). Estos valores se dan debido a la poca masa biogénica localizada en los embalses de las centrales, por lo que la generación de diversos GEI como el metano es mínima (Hertwich, 2013). Sin embargo, el gobierno espera que las nuevas centrales hidroeléctricas que se generen estén localizadas en la Amazonía.

Las centrales ubicadas en la zona andina son de salto de agua, en las que la generación energética se da mediante el diferencial de elevaciones y no requieren de embalses de mayor magnitud. Por el contrario, las centrales que se tienen pensadas en la Amazonía, dada la carencia de zonas elevadas, serían de reservorio, lo que implicaría la inundación de extensas áreas con alta densidad arbórea y contenido biogénico. En consecuencia, se generaría una elevada cantidad de GEI, lo que ocasionaría que el impacto por kWh alcance

valores tan elevados como los 600 g CO₂eq, valores sustancialmente más elevados respecto a los valores actuales generados por la matriz peruana (Abril et al., 2005; Demarty and Bastien, 2011; Vázquez-Rowe et al., 2015; Briones-Hidrovo et al., 2017). A pesar de ello, la propuesta actual de las NDC estima una reducción de 3.79 Mt de CO₂eq hacia 2030 debido a la combinación en el uso de la energía hidroeléctrica y otras fuentes renovables, las cuales podrían verse frustradas de implementar capacidad hidroeléctrica a expensas de costos biogénicos mayores. Esta propuesta, además, contempla también la implementación de centrales hidroeléctricas con una capacidad instalada menor a los 20 MW, con lo que serían consideradas “pequeñas” hidroeléctricas. Asimismo, dichas centrales estarían localizadas en 10 regiones, de las cuales serían todas costeras o andinas, evitando así el problema de las emisiones biogénicas excesivas.

Otro factor de elevada importancia en el sector hidroeléctrico y que no está contemplado en la propuesta actual de las NDC, es el retroceso glacial en los Andes (Bradley et al., 2006; Schauwecker et al., 2014). A esto se le suma el efecto incierto de las sequías intermitentes y la intensificación del fenómeno de El Niño (Chen et al., 2017), el cual forzaría al sector energético peruano a introducir medidas de adaptación al cambio climático (Vázquez-Rowe et al., 2015). Con esto en mente, la interconexión eléctrica transfronteriza con Ecuador, país que cuenta con una amplia producción hidroeléctrica, no solo contribuirá a la mitigación, pero también a la adaptación para minimizar cambios abruptos en la disponibilidad hídrica local. En este contexto es que el modelado de ACV consecuencial, que se centra en las

consecuencias ambientales de un cambio en un sistema o proceso, supondría un marco interesante para poder identificar cuáles podrían ser los efectos marginales y/o incrementales de este importante hito en la interconexión de la matriz eléctrica peruana para poder estimar el efecto dominó de los cambios en las emisiones de GEI de esta NDC (Zamagni et al., 2012).

Finalmente, de manera simultánea y complementaria a la generación hidroeléctrica, también se debe tomar en consideración las importantes disminuciones en costos de inversión que han sufrido otras tecnologías renovables como la eólica o solar fotovoltaica, las cuales tienen un elevado potencial en diversas regiones del Perú. Este punto es imperativo debido a la falta de accesibilidad de la energía hidroeléctrica a todos los rincones del país. En primer lugar, respecto a las instalaciones solares fotovoltaicas, como se mencionó anteriormente, estas han tenido un amplio crecimiento en regiones al sur del país, como Arequipa, Moquegua y Tacna (Diario Gestión, 2018; MINEM, 2018). Asimismo, un estudio de ACV atribucional conducido por Bazán y otros colegas en 2018 analizó la generación descentralizada de electricidad producida por paneles fotovoltaicos en ámbitos urbanos a lo largo del Perú. Los resultados indican que esta descentralización podría proveer amplias reducciones en la emisión de GEI en la costa hiper árida peruana, en donde la energía hidroeléctrica no cubre la demanda total. Lo mismo ocurre en la cuenca amazónica, en donde el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) está deficientemente conectado debido a la poca accesibilidad de la región, a la pobreza, y en

donde se depende casi exclusivamente de los combustibles fósiles. Dicho hallazgo estaría en línea con la segunda NDC propuesta, “suministro de electricidad con recursos energéticos renovables en áreas no conectadas a la red”, la cual pretende la reducción de 0.01 Mt CO₂eq hacia 2030, mediante la instalación de 74.6 MW de paneles fotovoltaicos en determinadas ciudades peruanas.

6.2 *Rellenos sanitarios*

El sector de rellenos sanitarios es un sector que ha sufrido cambios sustanciales en los últimos 5 años. Actualmente, la estrategia del MINAM radica en la transición del uso de botaderos informales al uso de rellenos sanitarios a lo largo de todo el país. Sin embargo, también se cuenta con un gran déficit en estas instalaciones. Dada la significancia de las emisiones en el sector, y teniendo en cuenta la situación actual, a continuación, se presenta un recuento de las principales medidas, normas y políticas vigentes en cuanto al manejo de residuos sólidos:

El 23 de diciembre del año 2016, se promulgó la nueva **Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos**, mediante el Decreto Legislativo N°. 1278. Dicha Ley establece que los residuos deben manejarse de manera integral y sostenible, mediante la articulación, integración, compatibilización de las políticas, planes, programas, estrategias y acciones de los agentes intervinientes en la gestión y el manejo de los residuos sólidos, y empleando los lineamientos de política correspondientes. Finalmente, derogó la LGRRSS desde la publicación del Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (El Peruano,

2016). El Reglamento de la LGIRS (DL 1278, fue publicado el 23 de diciembre de 2017 a través del DS 014-2017-MINAM).

Del mismo modo, en fecha 07 de octubre del año 2009, se aprobó la Ley N°. 29419, **Ley que Regula la Actividad de los Recicladores**, la misma que fue reglamentada el 03 de junio de 2010, a través del Decreto Supremo N°. 005-2010-MINAM. Ambos establecen el escenario normativo para la regulación de las actividades de los recicladores, dirigido al desarrollo social y laboral, estimulando la formalización y apoyando la mejora del manejo eficiente de los residuos sólidos. También definen al reciclaje como el proceso por el cual se reincorporan productos a procesos de transformación y manufactura, de modo que se reduzcan sus efectos contaminantes y generen beneficios, y al reciclador como todo aquel que recolecte selectivamente residuos sólidos no peligrosos para su reciclaje, segregación y comercialización (MINAM, 2013).

La **Resolución Ministerial No. 702-2008-MINSA** publicada el 12 de octubre de 2008, creó la Norma Técnica de Salud que regula el manejo selectivo de residuos sólidos por segregadores. Esta tiene como objetivo asegurar la gestión adecuada de los residuos sólidos, como medida de prevención de peligros salubres, y protección y promoción de la calidad del medio ambiente y de la vida de las personas (MINAM, 2013). Además, se establecen medidas para la ejecución de actividades previas al reaprovechamiento que involucren manipulación, segregación, embalaje, recolección y transporte de residuos sólidos.

Asimismo, el 27 de junio de 2012 mediante el Decreto Supremo N° 001-2012-MINAM, se aprobó el **Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)**. Dicho reglamento establece derechos y obligaciones para la adecuada gestión y manejo de los RAEE a través de las diversas fases de su administración: generación, recolección, transporte, acopio, tratamiento, reaprovechamiento y disposición final, implicando a los diferentes actores en la gestión responsable con el objetivo de mejorar las condiciones de vida, mitigar el impacto ambiental y en la salud de las personas (MINAM, 2012).

Adicionalmente, el 27 de julio de 2016 se aprobó el **Plan Nacional de Gestión de Residuos Sólidos 2016 - 2024 (PLANRES)**, el cual tiene como objetivo principal tanto la reducción de la producción de residuos sólidos a nivel nacional, como el control de los riesgos sanitarios y ambientales vinculados, y la contribución con la protección de la salud de las personas. Este plan por ende implica la ejecución de programas de educación ambiental y participación ciudadana, para así lograr el control y disminución per cápita (MINAM, 2016). Igualmente, el PLANRES busca incrementar la calidad y cobertura de los sistemas de recolección y valorización de los residuos sólidos generados.

El mencionado Plan contempla los principales ejes políticos y técnicos establecidos en la legislación peruana. Este, además, añade estrategias y recomendaciones concertadas en diversos acuerdos mundiales relacionados al desarrollo sostenible, salud y fortalecimiento

del comercio exterior en cuanto al manejo integral de residuos sólidos se refiere (MINAM, 2016).

Asimismo, los resultados del estudio de ACV ejecutado para este sector proporcionaron resultados positivos, ya que existen diversas medidas a tomar con un amplio potencial de reducción de las emisiones de GEI. Del mismo modo, se han podido obtener resultados que esclarecen el escenario actual y a futuro en cuanto a residuos se refiere, de manera que se puedan afinar las propuestas actuales de las NDC. Un resultado importante e imprevisto al que llegó el estudio fue el factor que los botaderos, ya sean profundos o poco profundos, generan menos emisiones que los rellenos sanitarios sin tratamiento de biogás. Esto se debe a que la falta de compactación y mantenimiento de un botadero genera que los residuos se descompongan bajo condiciones aeróbicas, en contraposición a un relleno sanitario bien operado, donde se dan condiciones anaeróbicas. Al existir condiciones aeróbicas en lugar de anaeróbicas, se genera menor cantidad de metano, gas con un potencial de calentamiento global 28 veces mayor al del CO₂, por lo que el impacto en la categoría de cambio climático es menor. En consecuencia, una simple transición del uso de botaderos al de rellenos sanitarios, no tendría mayores beneficios en cuanto al cambio climático se refiere (Ziegler-Rodriguez et al., 2019). Sin embargo, al realizar esta transición, si se tendrían beneficios en otras categorías de impacto, ya sea en las vinculadas a la toxicidad o a la eutrofización.

Al analizar en detalle las medidas de mitigación propuestas en los NDC para este sector, se puede ver una clara línea de acción planificada del MINAM, ya que se ha planificado la ejecución de las medidas en periodos de corto y mediano plazo, según su complejidad. La primera medida propuesta, a corto plazo, y que involucra al menos a 51 distritos a lo largo de 13 regiones, es la construcción de 20 rellenos sanitarios semi-aerobios. Esta medida es apropiada ya que con la tecnología semi-aerobia se reduce considerablemente la generación de GEI de manera pasiva, es decir, sin tener que incurrir en prácticas operativas de mayor complejidad. Esta medida contempla la reducción potencial de 0.13 Mt de CO₂eq. Asimismo, es un gran paso en reducción de las brechas de infraestructura existentes fuera de la capital.

La segunda medida de mitigación propuesta es la de segregación de residuos sólidos orgánicos para su valorización material en plantas de compostaje. Si bien esta medida considera que se tendrán reducciones mínimas (0.004 Mt CO₂eq), estas cifras no incluyen los efectos previstos a lo largo de toda la cadena de suministro del ciclo de vida tanto del compostaje como de los elementos reemplazados por él. La construcción de 30 plantas de compostaje generaría compost suficiente para reemplazar otros fertilizantes de origen variado, y en su mayoría importados al país. Desde un punto de vista del ACV consecuencial, al generarse mayor compost en el país, la cantidad de fertilizantes importados requeridos se vería reducida por las fluctuaciones ocurridas en el mercado. La producción de dichos fertilizantes, de procedencia inorgánica, es además extensamente

intensiva energéticamente (Vázquez-Rowe et al., 2016). En consecuencia, es probable que, de llevarse a cabo esta medida, las reducciones sean más amplias de lo previsto inicialmente.

La siguiente medida con la que el gobierno peruano se ha comprometido es la construcción de rellenos sanitarios con captura y quema centralizada de biogás. Esta medida está planeada a ser ejecutada en el mediano plazo, y contempla la reducción potencial de 0.173 Mt de CO₂eq, a través de 5 rellenos sanitarios que atenderán a 32 distritos de 5 regiones. Actualmente, uno de ellos, el de Maynas (Loreto), se encuentra en construcción, mientras que otro de ellos (Chiclayo, Lambayeque) si bien se encuentra en la etapa de factibilidad, actualmente está paralizado. Los restantes, de las ciudades de Arequipa (Arequipa), Coronel Portillo (Pucallpa, Ucayali) y Tacna (Tacna) están en formulación. Esta medida sigue los lineamientos marcados por los resultados del estudio de ACV realizado como parte de este proyecto, en el cual se destaca además la necesidad de este tipo de emplazamientos en grandes ciudades y en las regiones amazónicas. Si bien con este tipo de rellenos se mitigan los impactos de manera más efectiva que con la quema descentralizada, esta es una tecnología considerada antigua y limitada en economías desarrolladas (Kahhat et al., 2018). Esto es principalmente por los diversos medios de tratamiento existentes en los sistemas integrados de gestión de los residuos, donde los residuos orgánicos son segregados y tratados, por lo que en consecuencia llegan bajas cantidades de materia orgánica a este tipo de instalaciones (Kahhat et al., 2018). Además, debido a la carencia de

recuperación energética, estos sistemas son considerados ineficientes en situaciones en las que se reciben residuos sólidos municipales por el alto contenido orgánico y su consecuente potencial de generación de biogás (Kahhat et al., 2018). Por ende, la medida propuesta, si bien es un avance considerable en cuanto al sector residuos se refiere, es considerada poco ambiciosa y podría ser mejorada, ya sea con la implementación de sistemas de recuperación de energía, o mediante el incremento de emplazamientos. Por último, si se considerase la recuperación energética en el relleno sanitario de Maynas, no solo se reduciría el impacto mediante la descomposición del metano, sino también con la producción energética del emplazamiento, el cual reduciría el elevado consumo de combustibles de la ciudad de Iquitos debido al aislamiento del SEIN que sufre la ciudad (Vázquez-Rowe et al., 2015, 2018; Ziegler-Rodriguez et al., 2019).

La última medida planteada por el MINAM es el aprovechamiento del biogás generado en rellenos sanitarios para su valorización energética, es decir, la recuperación energética. Dentro de todas las medidas propuestas esta es la que mayores reducciones potenciales proporcionaría, con 0.281 Mt de CO₂eq. Sin embargo, solo considera la conversión de 3 rellenos sanitarios actualmente en funcionamiento, dos de ellos situados en Lima (Portillo Grande y el Zapallal) y el restante en Trujillo. Además, al considerar rellenos actualmente en funcionamiento, y con una antigüedad de más de 20 años (como lo es Portillo Grande, en operación desde el año 1996), existe una menor capacidad de recuperación energética dado que el relleno no fue concebido en su diseño para tal (ausencia de sistemas de

ventilación y recuperación del biogás, carencia de material impermeabilizante, entre otros). En consecuencia, si bien esta medida es completamente necesaria, igual se la considera poco ambiciosa.

Adicionalmente a las medidas propuestas específicamente en el sector residuos, existe una medida en el sector energético, específicamente en la categoría de Energía: combustión estacionaria. Esta hace alusión al reciclaje y a la reutilización de inorgánicos. Dicha medida contribuye a la reducción de extracción de materias primas en cadenas de suministro como los plásticos, y en consecuencia el consumo energético en dicho sector, con lo que se reduciría potencialmente la emisión de GEI (Astrup et al., 2009). Los plásticos que se proponen recuperar selectivamente son el polietileno de alta densidad (HDPE), el polietileno de baja densidad (LDPE) y el polietileno tereftalato (PVC), mientras que los demás inorgánicos se prevé que sean papel, cartón y vidrio. Mediante esta medida se habilitarían 30 centros de acopio de residuos sólidos municipales en 16 regiones como parte del Programa de Desarrollo de Sistemas de Gestión de Residuos Sólidos en Zonas Prioritarias que promueve el MINAM.

Luego de haber analizado las propuestas realizadas por el MINAM para el sector residuos sólidos, se proponen medidas complementarias que incrementarían la mitigación de emisiones de GEI. Siguiendo la línea de acción planteada por la Comisión Europea, mediante su paquete de Economía Circular (2008), se debe hacer mención, además del reciclaje y recuperación de inorgánicos, a la incineración. La incineración de los residuos

sólidos es por defecto la medida ideal para recuperar energía: al hacer uso de la combustión para generar calor en base a los residuos, principalmente inorgánicos, se aprovecha al máximo la energía contenida en ellos, quedando como único sólido residual las cenizas (Margallo et al., 2014, 2015). Sin embargo, se debe tener en consideración que al incinerar los residuos se generan diversos gases tóxicos que deberán ser tratados en la misma planta antes de ser liberados a la atmósfera. Esta medida reduce en entre 50 y 70% las emisiones de GEI dependiendo de la zona geográfica, ya que no solo se evita la generación de metano y su emisión directa, sino que la energía generada y utilizada es destinada a sustituir el uso de combustibles fósiles.

En complemento a la recuperación energética basada en la incineración, otra medida importante para obtener energía de los residuos es la digestión anaerobia. Mediante este método, si bien requiere mayor inversión e infraestructura que el compostaje, se puede generar mayores cantidades de biogás en base a los residuos orgánicos (Carlsson et al., 2015; Zhao et al., 2015). Asimismo, esta técnica genera mayores eficiencias en zonas de altas temperaturas como lo son las regiones amazónicas y el norte del Perú, lugares en donde, además, se tienen generaciones elevadas de residuos orgánicos, llegando hasta un 65% del total, y con lo que se podría lograr una reducción de en hasta 70% de GEI (Ziegler-Rodriguez et al., 2018). Al existir mayores generaciones de residuos orgánicos, la producción energética de las plantas sería mayor, generando mayores beneficios a la población. De aplicarse esta tecnología no solo se reduciría la dependencia de combustibles



fósiles en ciudades aisladas, como Iquitos, sino también se generarían puestos de trabajo y un manejo adecuado de los residuos sólidos (Hauser, 2017).

En cuanto a las NAMA para el sector Rellenos Sanitarios, en un inicio se planteó la implementación de la recuperación energética en 3 rellenos sanitarios, la quema de biogás en 6 ciudades, el compostaje en 2 ciudades medianas, 23 ciudades pequeñas, y una ciudad grande (MINAM, 2015). Las medidas de compostaje y combustión del biogás fueron finalmente incluidas en la propuesta peruana de las NDC, sin embargo, las medidas de recuperación energética fueron desestimadas debido a los elevados costos de inversión iniciales. Esta decisión puede ser contraproducente, ya que, si bien la inversión inicial puede ser más cuantiosa que la de la incorporación de quema de biogás, a mediano y largo plazo se tendrán mayores beneficios (de Oliveira et al., 2017). Con dicha estrategia, al generarse energía en el relleno sanitario, se reducirían los costos operativos del mismo, ya que en el emplazamiento se utilizaría la energía generada. Además, se generarían ingresos adicionales que amortizarían la inversión inicial mediante la energía generada y comercializada. Por otro lado, no solo se verían ventajas económicas directas por la comercialización del biogás, sino también indirectas. Los beneficios indirectos de la generación energética en este tipo de infraestructura se verían plasmados en la lucha contra el cambio climático; al existir mayores reducciones en el sector, se podría invertir menores sumas de dinero a futuro para mitigar la misma cantidad de impactos y reducir las emisiones de GEI. Por ende, los beneficios de la implementación de la generación

energética son mayores a los costos, si se considera una visión integral y a largo plazo de la medida a implementar.

6.3 Productos de Refinerías

Los resultados obtenidos en este estudio permitieron generar inventarios de ciclo de vida que podrán ser utilizados como bases de datos para reflejar la situación actual, y poder evaluar posibles medidas de reducción de GEI a nivel nacional. Estas propuestas pueden partir de mejoras a nivel de producción durante el destilado de petróleo, cambios en las distancias de transporte de crudo y otros productos, así como la implementación de normativas que exijan un mayor porcentaje de biocombustibles en la mezcla final (McManus et al., 2015).

A día de hoy, el sector refinerías es el sector estudiado con más normativa. Sin embargo, en el estudio realizado solo se analizó el refinamiento del biodiesel y la gasolina, por lo que solo se presentará la normativa concerniente a dichos productos finales.

En el año 2003 en el Perú se promulgó la Ley N° 28054 “Ley de promoción del mercado de biocombustibles”, y en el año 2005 se promulgó el reglamento de dicha ley, mediante Decreto Supremo N° 013-2005-EM. Estas normativas promueven la diversificación del mercado de combustibles mediante la inclusión de biodiesel y etanol anhidro en las formulaciones de diésel y gasolina en el Perú, así como la disminución de la contaminación ambiental.

En el caso de la formulación de diésel, la ley y su reglamento establecen que desde el 1 de enero de 2010 todo el país deberá comercializar diésel B5, cuya composición es 95% de diésel de petróleo y 5% de biodiesel. En el caso de Perú, el biodiesel utilizado es importado de Argentina, donde se lleva a cabo su producción en base a soya.

En el caso de la formulación de gasolina, la ley y su reglamento establecen que también para el 1 de enero de 2010 todo el país deberá comercializar gasolina con una formulación de 92.2% de gasolina y 7.8% de bioetanol. Mientras que el diésel B5 ha sido implementado exitosamente en el país, durante la ejecución del estudio, la gasolina combinada con bioetanol ha sido implementada únicamente en la refinería La Pampilla, ubicada en Ventanilla (Callao). Posteriormente, se terminó de implementar en su totalidad en las refinerías de Petroperú.

A modo de proponer posibles medidas de reducción de GEI y mejora de las NDC, se describirán cambios en las formulaciones de diésel B5 y gasolina 90 en las tres refinerías evaluadas. Dichos cambios están vinculados a las concentraciones de combustible a base de petróleo y biocombustible en la mezcla.

Las actuales medidas de mitigación relacionadas al sector refinerías, y que han sido propuestas en el informe final del GTM, encargado de evaluar las NDC, se dividen en dos rubros. El primer rubro es el de Energía: combustión estacionaria. En dicho subsector se han propuesto 24 medidas, las cuales generarían una reducción potencial de hasta 10.07 Mt

CO₂eq. Además, en este subsector se abordan 3 categorías principales para las medidas: energías renovables, eficiencia energética, y uso de combustibles provenientes de residuos (ej. neumáticos en desuso). Sin embargo, en ninguna de las medidas propuestas se hace mención a las refinerías, la producción de biocombustibles o su uso. En ellas se habla en términos generales sobre la renovación de maquinaria e implementación de nuevos procedimientos para reducir el consumo energético en las industrias, específicamente la producción ladrillera y cementera, y en los servicios de saneamiento.

Según el estudio realizado en el sector de refinerías, la producción de diésel B5, es decir, con un contenido de 5% de biocombustible y 95% de diésel, genera entre 0.44 y 0.48 kg de CO₂eq por kg de combustible. En contraste, la producción suiza de diésel sin adiciones de biocombustible genera 0.39 kg de CO₂eq por kg de combustible, lo cual muestra altas tasas de ineficiencia en la producción peruana a pesar de considerarse la inclusión de combustibles alternativos de bajas emisiones. Si bien la refinería de mayor producción del país, la refinería de Talara, perteneciente a Petroperú, está siendo repotenciada y ampliada, incrementando de 65 mil barriles/día a 95 mil barriles/día, se estima que esta recién iniciará operaciones en el 2021 (El Comercio, 2019). A pesar de ello, este megaproyecto de ingeniería tiene como finalidad producir combustibles más limpios y de una manera más eficiente (Petroperú, 2018). Sin embargo, las refinerías de La Pampilla y Conchán no recibirán mayores acciones de inversión para modernizar sus procesos, ni mejorar su eficiencia y producción limpia. Por ende, se propone incluir en las propuestas de las NDC

tanto medidas para el incremento de la eficiencia del refinado de combustibles, como medidas para incrementar los estándares de producción de combustibles en el país, de modo que, independientemente de si son públicas (Talara y Conchán, pertenecientes a Petroperú) o privadas (La Pampilla, perteneciente a Repsol), se tenga un estandar mínimo de calidad de combustibles en el país y de emisiones de GEI.

El segundo rubro analizado por el GTM es el de Energía: combustión móvil. En esta subcategoría se han dividido las medidas en tres secciones: transporte sostenible (masivos e integrados), eficiencia energética del transporte, y mejora de la infraestructura vial. Estas propuestas lograrían una reducción potencial de hasta 6.94 Mt CO₂eq. Al igual que en rubro de combustión estacionaria, ninguna de las medidas 14 propuestas aborda directamente el uso de biocombustibles. En cuanto a temas de combustibles, la propuesta final abarca directamente la promoción del uso del gas natural vehicular, el gas licuado de petróleo, y el uso vehículos eléctricos. Sin embargo, existe una propuesta denominada “promoción del uso de combustibles más limpios”, la cual incluye la reducción del contenido de azufre de diversos combustibles, y elevar los estándares de emisiones vehiculares de Euro IV a, eventualmente, Euro VI. Sin embargo, la evolución entre estos estándares de calidad de emisiones vehiculares no regulan las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, sino otros indicadores como el material particulado, óxidos de nitrógeno, y óxidos de azufre. Si bien la reducción de óxidos de nitrógeno y material particulado como el carbón negro (producto de la combustión incompleta de hidrocarburos) afecta positivamente el

cambio climático, no se reduce el principal gas contaminante, el CO₂. y Esta medida estima una reducción potencial de 0.54 Mt CO₂eq, sin embargo, con la reducción de azufre, y con estándares de calidad más rigurosos no podría alcanzarse la magnitud de dicho objetivo.

En consecuencia, de acuerdo al estudio realizado, si bien los resultados poseen alta incertidumbre, una opción a incorporar sería el incremento del uso de biocombustibles en la composición de los combustibles. Según el estudio, la incorporación del 10% de biodiésel sobre el total de la mezcla al diésel (diésel B10), generaría una reducción del 23% de las emisiones. Incorporar el 15% de biodiésel (diésel B15) generaría una reducción del 47% de emisiones de GEI, y el uso del diésel B20 generaría una reducción potencial del 63% de las emisiones de GEI. En similar medida, al incorporar bioetanol a la gasolina de 90 octanos, generando gasohol, se generarían amplias reducciones potenciales. Una incorporación de 7.8% de bioetanol generaría una reducción potencial del 7%; una incorporación del 15% generaría reducciones potenciales del 10%, y una incorporación del 20% de bioetanol generaría hasta un 14% de reducciones potenciales en la emisión de GEI.

Por último, es pertinente mencionar que los resultados de reducciones de emisiones potenciales mencionados anteriormente deben ser interpretados con cuidado, ya que el estudio realizado fue un ACV atribucional, es decir, se midieron solo los impactos directos. Diversos estudios en la literatura de ACV existente mencionan que en el caso de los biocombustibles, un ACV atribucional no siempre va a mostrar los impactos reales de los

biocombustibles, ya que existen diversos procesos que se generan en consecuencia del cambio de uso de suelos, entre otros factores (Brander et al., 2008; Gnasounou et al., 2009; Panichelli et al., 2017). Por ende, otra de las recomendaciones a realizar es que se debe llevar a cabo un estudio de ACV consecencial a mayor profundidad estudiando los efectos específicos de la incorporación e importación de biocombustibles en las mezclas utilizadas en el país.

7. Conclusiones

En la sección anterior se hizo un análisis de los resultados obtenidos en el proyecto y se los vinculó con la propuesta actual de las NDC en cada sector. Si bien el MINAM propuso medidas con un gran potencial de reducción de emisiones, especialmente en el sector energético y de residuos, existen ciertas carencias en el plan actual que deben ser analizadas y mejoradas. El primer asunto a mejorar es la construcción de centrales hidroeléctricas en zonas amazónicas. Esta propuesta es ampliamente riesgosa, ya que la generación de GEI incrementaría debido a la descomposición de materia orgánica. En cuanto a los residuos sólidos, la propuesta es claramente una mejora radical respecto a la situación actual. Sin embargo, y como se mencionó anteriormente, para mitigar adecuadamente y poder cumplir las metas de reducciones, se deberán tomar medidas adicionales, como lo es la recuperación energética en base al biogás generado en los rellenos sanitarios. Por último, en el sector de productos de refinerías, la propuesta actual de NDC presenta un desarrollo más limitado. Es en este sector donde se ha identificado la mayor falta de acciones, especialmente tomando

en cuenta su relevancia. Es imperativo incorporar medidas de reducción adicionales en este sector para poder llevar a cabo las reducciones inicialmente planteadas.

Luego de haber realizado el análisis de las medidas planteadas por el MINAM y compararlas con los resultados obtenidos en el presente estudio, se concluye que se deberán incorporar una serie de medidas adicionales a las NDC para poder cumplir los objetivos. De incorporarse las medidas propuestas en el estudio se podrán lograr reducciones de por lo menos un 10% en cada sector. Como se ha visto, en el sector de rellenos sanitarios estas reducciones pueden ser mayores al 50% dependiendo del tipo de tecnología existente en la actualidad. En el caso de centrales hidroeléctricas, un mayor aprovechamiento del potencial andino podría reducir considerablemente las emisiones de GEI, incluso en comparación con otras energías renovables, como la energía eólica. Estas medidas, de acuerdo al ACV realizado, no solo tienen un gran potencial de reducción de emisiones de GEI, sino también de otros impactos a diversas categorías, como lo son la eutrofización, acidificación y toxicidad. Por último, se debe añadir que se deben seguir realizando estudios de similar índole para poder mejorar las medidas propuestas en los sectores estudiados, y en nuevos sectores, de modo que se tenga una mayor precisión en las medidas de mitigación.

Agradecimientos

Los investigadores agradecen el apoyo del profesor Ramzy Kahhat, y al investigador Gustavo Larrea Gallegos, por la discusión científica desarrollado a lo largo de los últimos meses, haciendo posible la publicación de un artículo científico. Los investigadores alargan

el agradecimiento a Eduardo Cancino Espinoza, por apoyo logístico y científico en las primeras semanas de dicha actividad. Asimismo, se agradece la transmisión de información de otras actividades del proyecto a los siguientes investigadores: Daniel Verán, María Margallo, Berlan Rodríguez, Diana Ita, Alessandro Gilardino y la profesora Isabel Quispe.

Se agradece a las direcciones de Calidad Ambiental, Residuos Sólidos y Cambio Climático del Ministerio del Ambiente (MINAM) del Perú, en especial a Ricardo Estrada, por compartir información importante de acción climática durante el desarrollo del proyecto.

El grupo de investigación agradece al gobierno alemán, por la contribución económica para poder llevar a cabo esta investigación. Además, agradecer a la Iniciativa Internacional del Clima y a la ONU Medio Ambiente por la financiación del proyecto IKI.

This project is part of the International Climate Initiative (IKI). The Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB) supports this initiative on the basis of a decision adopted by the German Bundestag.

Referencias

Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., Tremblay, A., Varfalvy, L., Dos Santos, M.A., Matvienko, B., 2005. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-year old tropical reservoir (Petit Saut, French Guiana). Glob. Biogeochem. Cycles 19 (4).

Astrup, T., Fruergaard, T., Christensen, T. H., 2009. Recycling of plastic: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Manage. Res.* 27(8), 763-772.

Bazán, J., Rieradevall, J., Gabarrell, X., Vázquez-Rowe, I., 2018. Low-carbon electricity production through the implementation of photovoltaic panels in rooftops in urban environments: a case study for three cities in Peru. *Sci. Total Environ.* 622, 1448–1462.

Bradley, R.S., Vuille, M., Diaz, H.F., Vergara, W., 2006. Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science* 312(5781), 1755–1756.

Briones-Hidrovo, A., Uche, J., Martínez-Gracia, A., 2017. Accounting for GHG net reservoir emissions of hydropower in Ecuador. *Renew. Energy* 112, 209–221.

Brander, M., Tipper, R., Hutchison, C., Davis, G., 2008. Technical Paper: Consequential and attributional approaches to LCA: a Guide to policy makers with specific reference to greenhouse gas LCA of biofuels.

Carlsson, M., Naroznova, I., Møller, J., Scheutz, C., Lagerkvist, A., 2015. Importance of food waste pre-treatment efficiency for global warming potential in life cycle assessment of anaerobic digestion systems. *Resour. Conserv. Recy.* 102, 58-66.

Chen, Y., Morton, D.C., Andela, N., Van Der Werf, G.R., Giglio, L., Randerson, J.T., 2017. A pan-tropical cascade of fire driven by El Niño/Southern Oscillation. *Nat. Clim. Chang.* 7 (12), 906.

COES, 2018. Generación Eléctrica con Recursos Energéticos Renovables: diciembre 2018.

de Oliveira, A.J.R., da Costa, F.M.P., Barreto, L.N., dos Santos Moreira, L., Fortes, M.Z., Borba, B.S.M.C., 2017. Analysis of Waste Biogas (Landfills) applied to Power Generation. *Ingeniería Energética*, 38(3), 213-225.

Decreto Supremo N° 1002. Diario Oficial El Peruano, Lima, 26 de junio de 2008.

Decreto Supremo N° 064-2010-EM. Diario Oficial El Peruano, Lima, 24 de noviembre de 2010.

Demarty, M., Bastien, J., 2011. GHG emissions from hydroelectric reservoirs in tropical and equatorial regions: review of 20 years of CH₄ emission measurements. *Energ. Policy* 39 (7), 4197–4206.

Diario Gestión, 2018. La Central Solar Fotovoltaica más grande del país inició sus operaciones en Moquegua. Retrieved from. <https://gestion.pe/economia/empresas/central-solar-fotovoltaica-mas-grande-del-pais-inicio-operaciones-moquegua-229812> (Last accessed: June 25th 2018 [in Spanish]).

El Comercio, 2019. Refinería de Talara parará 13 meses: ¿cómo impactará esto a la economía? Recuperado el 24 de abril de 2019.

<https://elcomercio.pe/economia/peru/petro-peru-refineria-talara-parara-13-meses-impactara-esto-economia-noticia-617959>

European Commission, 2015. Closing the Loop - an EU Action Plan for the Circular Economy, Com(2015) 614 Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. European Commission, Brussels.

Gnansounou, E., Dauriat, A., Villegas, J., Panichelli, L., 2009. Life cycle assessment of biofuels: energy and greenhouse gas balances. *Bioresour. Technol.* 100(21), 4919-4930.

Hauser, M.J., 2017. Cost evaluation and life cycle assessment of biogas upgrading technologies for an anaerobic digestion case study in the United States (Master's thesis, NTNU).

Hertwich, E.G., 2013. Addressing biogenic greenhouse gas emissions from hydropower in LCA. *Environ. Sci. Technol.* 47(17), 9604–9611.

Margallo, M., Aldaco, R., Irabien, Á., 2014. Environmental management of bottom ash from municipal solid waste incineration based on a life cycle assessment approach. *Clean Tech. Environ. Policy* 16(7), 1319-1328.

Ley N° 1278. Diario Oficial El Peruano, Lima, 23 de diciembre de 2016.

Ley N° 25844. Diario Oficial El Peruano, Lima, 19 de noviembre de 1992.

Ley N° 28054. Diario Oficial El Peruano, Lima, 2003.

Ley N° 28058. Diario Oficial El Peruano, Lima, 8 de agosto de 2003.

Ley N° 28832. Diario Oficial El Peruano, Lima, 23 de julio de 2006.

Ley N° 29419. Diario Oficial El Peruano, Lima, 7 de octubre de 2009.

Ley N° 30754. Diario Oficial El Peruano, Lima, 18 de abril de 2018.

Margallo, M., Taddei, M. B. M., Hernández-Pellón, A., Aldaco, R., Irabien, A., 2015. Environmental sustainability assessment of the management of municipal solid waste incineration residues: a review of the current situation. *Clean Tech. Environ. Policy*, 17(5), 1333-1353.

McManus, M. C., Taylor, C. M., Mohr, A., Whittaker, C., Scown, C. D., Borrion, A. L., ... Yin, Y., 2015. Challenge clusters facing LCA in environmental decision-making—what we can learn from biofuels. *Int. J. Life Cycle Assess.* 20(10), 1399-1414.

MINAM, 2012. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) 2012*.

Disponible en:

<http://sinia.minam.gob.pe/documentos/inventario-nacional-gases-efecto-invernadero-ingei-2012>

MINAM, 2013. *Informe: Diagnóstico de los Residuos Sólidos en el Perú*. Disponible en:

https://www.nefco.org/sites/nefco.org/files/pdf-files/1_diagnostico_de_los_residuos_solidos_en_el_peru.pdf

MINAM, 2016. *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016 – 2024*.

Disponible en: http://hera.pcm.gob.pe/eficiencia/wp-content/uploads/2016/09/Plan_Nacional_Gestion_Integral_Residuos_Solidos_2016_2024.pdf

MINEM, 2018. MEM inauguró la central solar fotovoltaica Rubí en Moquegua, la más grande del país. Retrieved from. http://www.minem.gob.pe/_detallenoticia.php?idSector=6&idTitular=8333 (Last accessed: June 25th 2018 [in Spanish]).

Panichelli, L., Gnansounou, E., 2017. Modeling Land-Use Change Effects of Biofuels Policies: Coupling Economic Models and LCA (No. BOOK_CHAP, pp. 233-258). Elsevier.

Petroperú, 2018. Nueva Refinería Talara. Recuperado el 24 de abril de 2019. <https://www.petroperu.com.pe/proyectos-y-unidades-operativas/proyectos/nueva-refineria-talara/>

Schauwecker, S., Rohrer, M., Acuña, D., Cochachin, A., Dávila, L., Frey, H., Giráldez, C., Gómez, J., Huggel, C., Jacques-Coper, M., Loarte, E., Salzmann, N., Vuille, M., 2014. Climate trends and glacier retreat in the Cordillera Blanca, Peru, revisited. *Glob. Planet. Chang.* 119, 85–97.

Vázquez-Rowe, I., Marvuglia, A., Rege, S., Benetto, E., 2014. Applying consequential LCA to support energy policy: land use change effects of bioenergy production. *Sci. Total*

Environ. 472, 78–89.

Vazquez Rowe, I., Reyna, J., García Torres, S. Kahhat, R., 2015. Is climate change-centrism an optimal policy making strategy to set national electricity mixes. Appl. Energy, 159, 108-116.

Vázquez-Rowe, I., Kahhat, R., Quispe, I., & Bentín, M. (2016). Environmental profile of green asparagus production in a hyper-arid zone in coastal Peru. J. Clean. Prod. 112, 2505-2517.

Verán-Leigh, D., Vázquez-Rowe, I., 2019. Life cycle assessment of run-of-river hydro-power plants in the Peruvian Andes: a policy support perspective. Int. J. Life Cycle Assess., aceptado. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-01579-2>.

Zhao, Y., Lu, W., Damgaard, A., Zhang, Y., Wang, H., 2015. Assessment of co-composting of sludge and woodchips in the perspective of environmental impacts (EASETECH). Waste Manage. 42, 55-60.

Zamagni, A., Guinée, J., Heijungs, R., Masoni, P., Raggi, A., 2012. Lights and shadows in consequential LCA. Int. J. Life Cycle Assess. 17(7), 904-918.

Ziegler-Rodriguez, K., Margallo, M., Aldaco, R., Irabien, A., Vazquez-Rowe, I., Kahhat, R., 2018. Environmental performance of Peruvian waste management systems under a life cycle approach. Chem. Eng. Trans. 70, 1753–1758.



Fomentado por el:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza
y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del Parlamento
de la República Federal de Alemania



The One Planet Network is the network of the 10 Year Framework of
Programmes on Sustainable Consumption and Production.

Ziegler-Rodriguez, K., Margallo, M., Aldaco, R., Vázquez-Rowe, I., Kahhat, R., 2019.
Transitioning from open dumpsters to landfilling in Peru: environmental benefits and
challenges from a life-cycle perspective. J. Clean. Prod., aceptado.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.015>