

## **Proyecto IKI-PNUMA**

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

### **Informe de identificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs) en subsectores del Perú y análisis del potencial de mitigación**

#### **Actividad 4**

**Red Peruana Ciclo de Vida**  
**Departamento de Ingeniería**  
**Pontificia Universidad Católica del Perú**

Ian Vázquez Rowe

Isabel Quispe

Berlan Rodríguez

Daniel Verán

Alessandro Gilardino

Kurt Ziegler

Lima, 4 de setiembre de 2017

## **Informe de identificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs) en subsectores del Perú y análisis del potencial de mitigación**

### **Actividad 4 – Definición línea base**

La Actividad 4 del proyecto, tal y como viene definida en el SSFA firmado entre la PUCP y ONU Medioambiente, indica lo siguiente:

*“Definir los lineamientos para la recolección, procesamiento, validación, registro y publicación de los datos nacionales para inventarios de ciclo de vida, teniendo en cuenta las buenas prácticas internacionales. Dentro de esta actividad se incluirá el desarrollo de una línea base de gases de efecto invernadero (GEI), la cual servirá para demostrar el nivel de identificación de GEI que se pretende delimitar en el proyecto, así como las propuestas de reducción de GEI que se pretenden recomendar a través del proyecto.”*

### **Agradecimientos / Acknowledgements:**

‘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.’

## Índice

### **Informe de identificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs) en subsectores del Perú y análisis del potencial de mitigación**

|                           |    |
|---------------------------|----|
| Introducción              | 3  |
| Centrales hidroeléctricas | 5  |
| Rellenos sanitarios       | 18 |
| Productos de refinería    | 27 |
| Conclusiones finales      | 42 |
| Referencias               | 45 |

**Introducción:**

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs) se refieren a cualquier gas que tiene la capacidad de absorber la radiación infrarroja en la atmósfera, siendo los principales gases el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O) y los gases fluorados (EPA, 2008). Estos GEIs ocasionan el aumento de la temperatura de la atmósfera global y generan variaciones climáticas que se producen a nivel global (IPCC, 2014).

El Perú en los últimos 15 años ha aumentado su economía hasta en un 70% (BCR, 2017). El aumento del crecimiento de la economía, al igual que en casi todos los países del planeta, ha ido de la mano de un aumento de la producción y consumo energético nacional con el fin de satisfacer las necesidades productivas y básicas de la población (MINAM, 2013). Sin embargo, este aumento de la producción ha generado una mayor cantidad de GEIs fragmentado en las seis principales categorías de actividades productivas y extractivas a nivel nacional. Estas categorías se dividen en: energía, procesos industriales, agricultura, uso del suelo, cambios del uso del suelo, silvicultura y desechos, las cuales varían su producción y emisión de acuerdo al incremento del PBI y la población anual (MINAM, 2010).

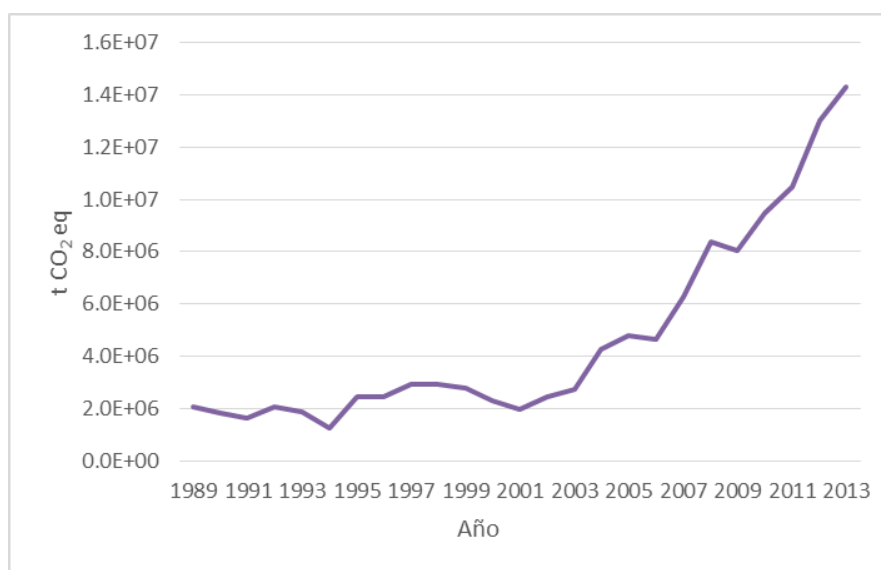
Aunque el cambio climático es un fenómeno global, sus impactos varían en intensidad y tipo de acuerdo a los niveles regionales. El Perú se presenta como uno de los países más vulnerables a los impactos del cambio climático, producto de la susceptibilidad del territorio, exposición, sensibilidad y capacidad adaptiva al cambio climático (MINAM, 2015). Frente a esta problemática, el gobierno peruano ha creado distintas acciones para fomentar un desarrollo bajo en carbono para poder mitigar las emisiones de GEIs en nuestro contexto nacional como el proyecto de Planificación ante el cambio Climático

(PLANCC), los Proyectos de Cooperación Interministeriales identificados como Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMAs) y la Preparación de Mercados de Carbono como el Partnership for Market Readiness (PMR) y el Mercado Internacional de Carbono (MDL) (MINAM, 2013). En el contexto actual, sin embargo, la mayoría de estas acciones se han agregado en las Contribuciones Nacionales Determinadas de mitigación de GEIs (iNDCs por sus siglas en inglés), una serie de acciones sectoriales que buscan contribuir a la mitigación de dichos gases en el horizonte temporal de 2030 y que están recogidas en el Acuerdo de París de 2015, ratificado por el Perú el 22 de julio de 2016.

El presente documento, que complementa a un documento precedente de la Actividad 4 del proyecto, recogido en el Anexo A, sobre el marco metodológico y normativo en el que se desarrolla el proyecto, pretende identificar cuáles son los potenciales de mitigación de emisiones de GEIs en tres subsectores peruanos incluidos en los seis sectores mencionados anteriormente: i) centrales hidroeléctricas; ii) rellenos sanitarios; y, iii) productos de refinería. En este sentido, en base al conocimiento adquirido en los ocho primeros meses del proyecto, se presentan los potenciales de mitigación de GEIs en los subsectores mencionados, enmarcándolos en el contexto actual de preparación nacional ante los retos del Acuerdo de París.

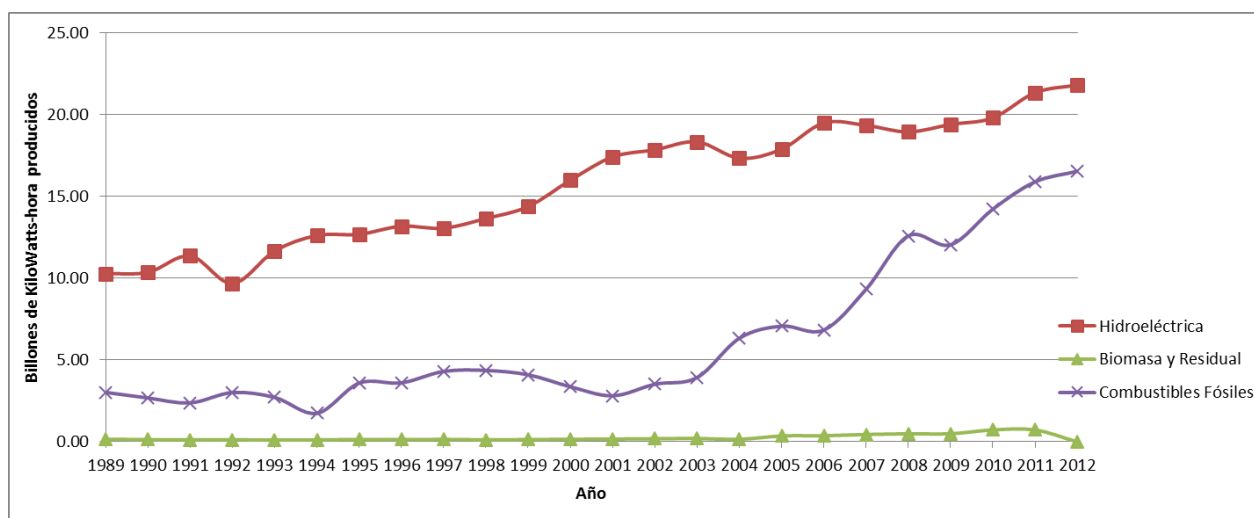
## CENTRALES HIDROÉLECTRICAS

Las emisiones producidas por el sector energético del Perú, de acuerdo al inventario nacional realizado por el Proyecto PLANCC en el año 2009, representaron un 25% de las emisiones totales del país (PLANCC, 2009). Adicionalmente, en un estudio elaborado por Vázquez-Rowe et al. (2015) se analizó el consumo eléctrico nacional en los últimos 20 años. Se muestra en la Figura 1 la cantidad de t CO<sub>2</sub>eq anuales que se emiten en el Perú desde el año 1989-2012. En esta se puede observar el gran incremento en la cantidad de emisiones anuales de GEI, el cual está relacionado con el aumento del uso de energía térmica.

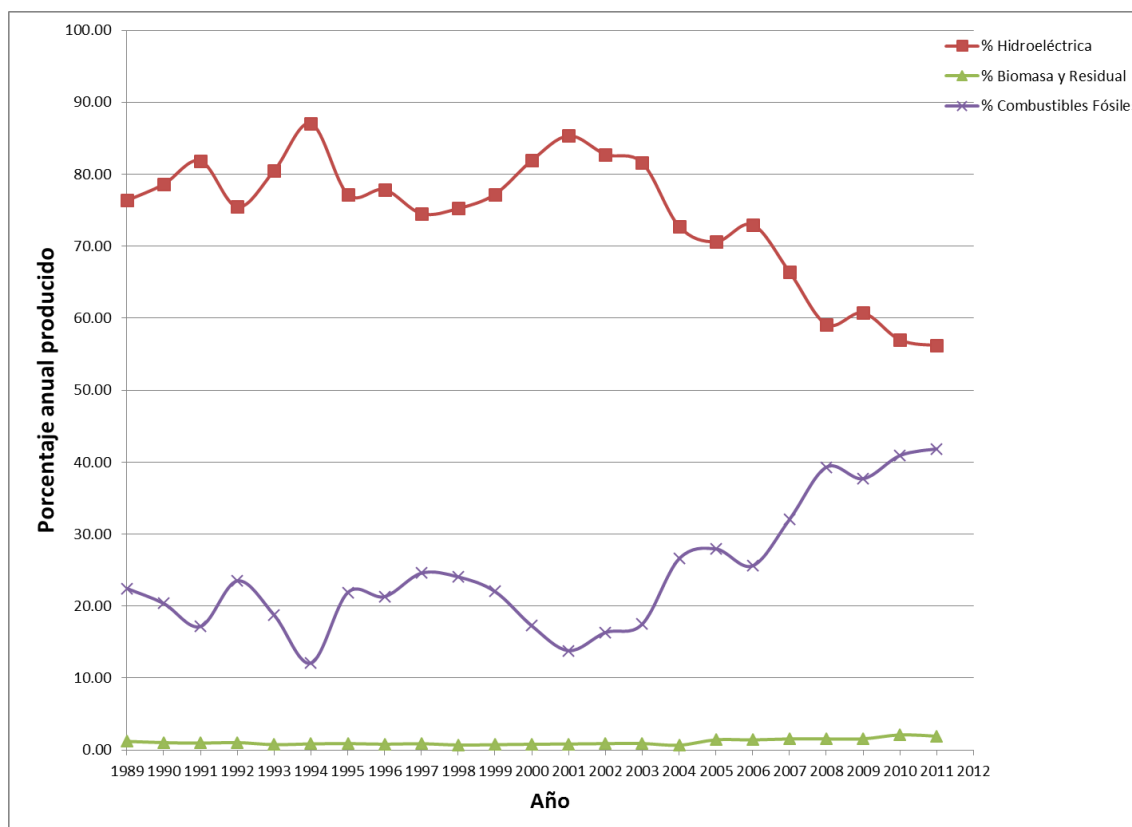


**Figura 1.** Emisiones anuales de t CO<sub>2</sub>eq generados por el sector eléctrico en el período 1989-2012 en el Perú. Fuente: Adaptación Personal.

En la Figura 2 se muestra la cantidad de kWh generado por la energía hidráulica, quema de combustibles fósiles y el uso de Biomasa y Residuos en Perú. Por otro lado, se muestra en la Figura 3 el porcentaje anual de la matriz energética para el tipo de energía en el Perú. Además, en ambas figuras se visualiza el aumento de la energía generada por la quema de combustibles fósiles y su incremento en el porcentaje de producción de energía eléctrica anual (Vázquez-Rowe et al., 2015). A pesar de que la producción de energía hidroeléctrica no ha dejado de crecer en todo el período, salvo en algunos años en los que se puede asociar la reducción con fenómenos naturales adversos, como el Fenómeno El Niño, el crecimiento de la demanda de energía ha sido notablemente superior al aumento de producción hidroeléctrica.



**Figura 2.** Generación eléctrica en billones de kWh producción por tipo de energía en el Perú desde el año 1989-2012. Fuente: Adaptación Personal.



**Figura 3.** Porcentaje anual de la matriz energética para el tipo de energía en el Perú desde el año 1989-2012. Fuente: Adaptación personal.

En la Figura 3 se puede observar que en la década de los años 80 la cantidad de energía producida con energía hidroeléctrica era cercana al 80%, mientras que los combustibles fósiles, fundamentalmente petróleo y carbón cubrían el resto de la demanda de energía. Sin embargo, a inicios del siglo XXI, la generación de energía eléctrica a partir de la quema de combustibles fósiles ha aumentado de forma acelerada, principalmente a partir de gas natural. La reducción del porcentaje de la energía hidroeléctrica de forma significativa en el mix eléctrico nacional se presenta como una problemática en cuestión de las emisiones de GEIs, puesto que la quema de combustibles fósiles emite mayor cantidad en comparación con los generados por las CCHH.



## Centrales Hidroeléctricas: Generación eléctrica e identificación de GEI

La generación de energía hidráulica se produce a partir de la construcción de las CCHH. Estas producen energía eléctrica a partir de la energía potencial que genera el agua del cauce de un río al tener un desnivel de altura (MINEM, 2015). En el año 2015, el Perú contó con 186 CCHH a nivel nacional y el crecimiento del uso de esta fuente de energía eléctrica ha ido en aumento en el año 2016 (MINEM, 2016). Las principales CCHH en base a su potencia instalada son: Complejo Hidroeléctrico Mantaro (Huancavelica) dividido entre la CH Antúnez de Mayolo y Restitución – 1010MW (Electroperú, 2016); CH Cerro del Águila (Huancavelica) - 525 MW y CH Chaglla (Huánuco) - 406 MW (Osinergmin, 2016). En la Tabla 1 se muestra la cantidad de Potencia instalada (MW) por tipo de fuente energética y en la Tabla 2 se muestra la cantidad de energía eléctrica producida a nivel nacional (GW.h) (MINEM, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015).

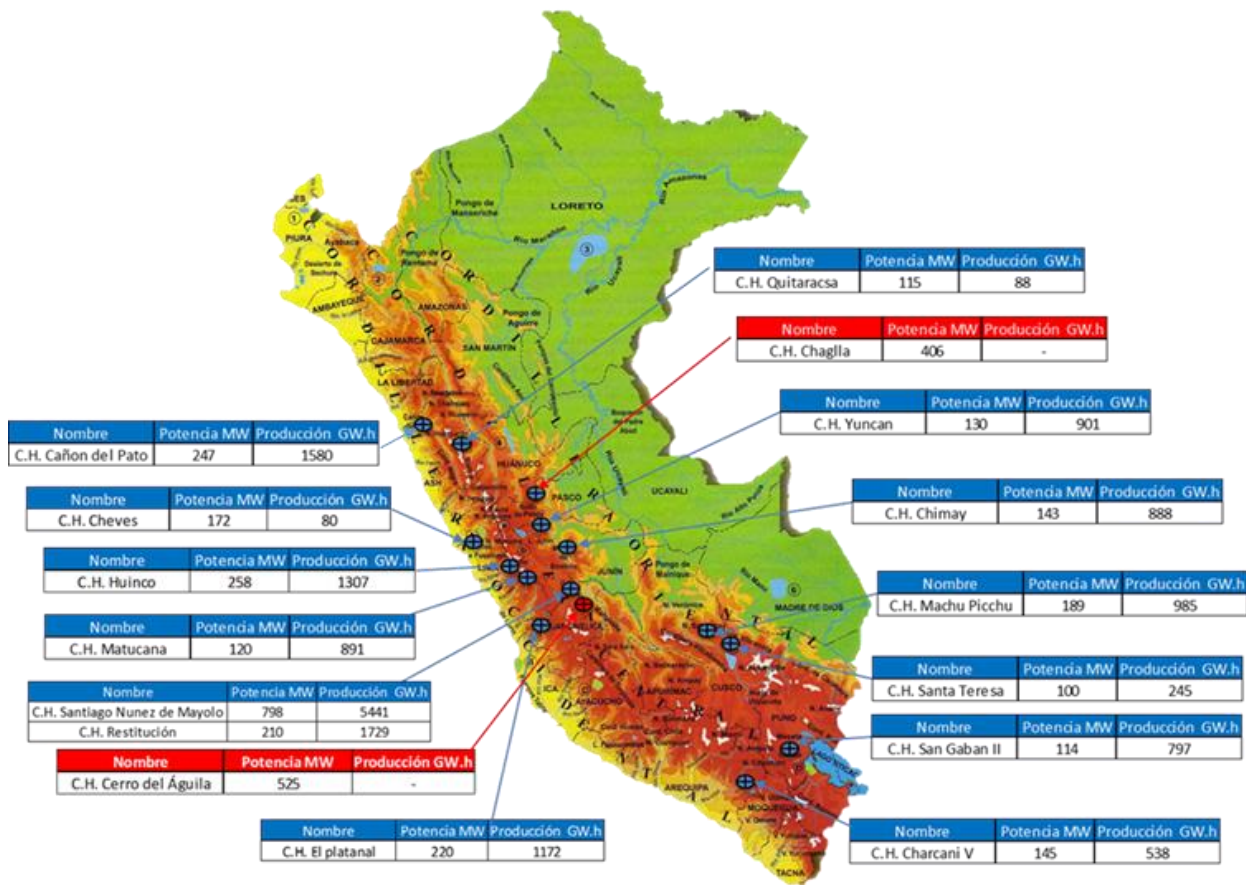
**Tabla 1.** Potencia Instalada por centrales eléctricas a nivel nacional (MW).

| INDICADORES TECNICOS  | 2010 | 2011 | 2012 | 2013  | 2014  | 2015  |
|---|------|------|------|-------|-------|-------|
| Potencia instalada por centrales eléctricas a nivel nacional (MW) | 8613 | 8691 | 9699 | 11051 | 11203 | 12189 |
| Hidráulica %  | 40   | 40   | 36   | 32    | 33    | 34    |
| Térmica %   | 60   | 60   | 63   | 67    | 65    | 63    |
| Solar %   | 0    | 0    | 1    | 1     | 1     | 1     |
| Eólica %  | 0    | 0    | 0    | 0     | 1     | 2     |

**Tabla 2.** Producción de energía eléctrica a nivel nacional (GW.h). Fuente: Adaptación personal.

| INDICADORES TECNICOS                                    | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Producción de energía eléctrica a nivel nacional (GW.h) | 35908 | 38805 | 41032 | 43330 | 45550 | 48270 |
| Hidráulica %  | 56    | 56    | 54    | 52    | 49    | 49    |
| Térmica %   | 44    | 44    | 46    | 48    | 50    | 49    |
| Solar %   | 0     | 0     | 0.1   | 0.5   | 0.4   | 0.5   |
| Eólica %  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.6   | 1.2   |

En la Figura 4 se muestra el mapa geográfico del Perú con la ubicación de las principales CCHH según su potencia instalada en base a la información que proporciona el Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2016). Asimismo, se puede observar que la mayor cantidad de CCHH se ubica en la zona centro andina. Esto es producto de la alta cantidad de glaciares y embalses naturales, que proporcionan condiciones ideales para su construcción y desarrollo generando la factibilidad de la construcción de este tipo de infraestructura.



**Figura 4.** Ubicación de las principales CCHH del Perú, según su potencia instalada y su producción energética. Fuente: Adaptación Personal.

Con la finalidad de hallar las emisiones de GEIs generados por la energía hidroeléctrica, se empleó el software Simapro versión 8.2.0 Analyst enlazado con la base de datos

suiza Ecoinvent® versión 3.2, desarrollados por Pré-consultants y Swiss Center for Life Cycle Inventories, respectivamente (ECOINVENT, 2017; Goedkoop, 2008). A partir de la información presentada en la base de datos, que incluye información de flujos de entrada y salida de materiales y energía ligados al proceso de construcción, operación y mantenimiento de centrales hidroeléctricas, y usando el método de análisis de IPCC 2013, se obtuvo que la huella de carbono es de 6,79 kg CO<sub>2</sub>eq por 1 kWh de energía producido, para el año 2015, donde la cantidad de energía hidráulica es igual a 23.652 GWh (IPCC, 2013). Por lo tanto, la cantidad de GEIs que se emitieron en el año 2015 producto de la energía hidráulica equivale a 160,6 Mt CO<sub>2</sub>eq anual. Así mismo, en la Tabla 3 se muestra la cantidad de CO<sub>2</sub>eq emitido por la generación de energía hidráulica, a partir de los informes estadísticos desarrollados por el MINEM.

**Tabla 3.** Emisiones anuales de CO<sub>2</sub>eq generados por la generación de Energía Hidráulica en el Perú del año 2010 al 2015.

| INDICADORES TECNICOS                                    | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Producción de energía eléctrica a nivel nacional (GW.h) | 35.908 | 38.805 | 41.032 | 43.330 | 45.550 | 48.270 |
| Hidráulica %  | 56     | 56     | 54     | 52     | 49     | 49     |
| Producción de energía eléctrica Hidráulica GW.h         | 20.108 | 21.731 | 22.157 | 22.532 | 22.320 | 23.652 |
| g CO <sub>2</sub> eq /kWh                               | 6,79   | 6,79   | 6,79   | 6,79   | 6,79   | 6,79   |
| Mt CO <sub>2</sub> eq anual                             | 136,54 | 147,55 | 150,48 | 152,99 | 151,55 | 160,59 |

Sin embargo, es importante precisar que en los resultados presentados en la Tabla 3 se asumió que no había una modificación tecnológica temporal en los años analizados, lo que potencialmente podría hacer variar ligeramente las emisiones de CO<sub>2</sub>eq producto de la generación de energía hidráulica. Asimismo, se está asumiendo que la tecnología en las distintas centrales es similar, lo cual puede generar una cierta incertidumbre en los resultados.

La Tabla 4 muestra la comparación entre las emisiones generadas por kWh por tipo de generación eléctrica. La energía hidráulica genera menor cantidad de CO<sub>2</sub>eq en comparación con las demás fuentes energéticas, siendo bastante mayor la diferencia en comparación con las emisiones generadas por la quema de combustibles fósiles, como carbón, gas natural y petróleo). Sin embargo, se debe tener en cuenta que en la base de datos Ecoinvent no se consideran las emisiones propias del embalse, las cuales son producto de la descomposición de la materia orgánica y la cantidad de carbono en el embalse. Esta consideración genera una variación significativa en los resultados, puesto que en la actualidad los últimos estudios demuestran que las emisiones de metano y dióxido de carbono en embalses, principalmente en climas tropicales amazónicos, generan emisiones de GEIs considerables (Hertwich, 2013; Barros et al., 2011; Fearnside et al., 2002, 2005). Para hallar la cantidad de GEI emitidos por tipo de generación se empleó, al igual que se describió anteriormente para centrales hidroeléctricas, el software Simapro versión 8.2.0 Analyst, enlazando con la base de datos Ecoinvent® versión 3.2 y el método de análisis IPCC 2013.

**Tabla 4.** Emisiones de kg CO<sub>2</sub>eq/kWh generados por cada uno de los tipos de generación eléctrica en el Perú.

| TIPO DE GENERACIÓN ELECTRICA                | kg CO <sub>2</sub> eq /kWh |
|---|----------------------------|
| Quema de Carbón                             | 1,35                       |
| Gas natural, centrales de ciclo combinado   | 0,755                      |
| Gas natural, planta de energía convencional | 0,415                      |
| Quema de Petróleo                           | 1,29                       |
| Eólica, <1MW, en tierra                     | 0,0196                     |
| Eólica, 1-3MW, en tierra                    | 0,0206                     |
| Quema de Biogás                             | 0,251                      |
| Energía producida por Biomasa               | 0,0525                     |
| Energía Hidráulica                          | 0,00679                    |
| Energía Photovoltaica                       | 0,0831                     |

## **Propuestas de solución para la reducción de GEI en centrales hidroeléctricas**

Con respecto a las propuestas de reducción de GEIs que se pretenden recomendar en el marco de este proyecto, se proponen para la construcción de CCHH algunas acciones de mejora de acuerdo a estudios científicos existentes en la literatura.

### ***Implementación de normativas para dirigir la construcción de futuras centrales hidroeléctricas (CCHH) en zonas altas con bajo contenido de carbono y materia orgánica***

En primer lugar, se recomienda que a futuro las CCHH de nueva construcción que se proyecten en el Perú deban ubicarse en zonas en las que la vegetación circundante al embalse y aguas arriba del río sea escasa, puesto que, a mayor cantidad de materia orgánica, las emisiones de GEIs serán mayores debido a procesos de descomposición (Hertwich, 2013; Barros et al., 2011; Fearnside et al., 2002, 2005; Giles et al., 2006; St. Louis, 2000). Por este motivo, es recomendable que los futuros proyectos se ubiquen en climas boreales o templados (Demarty, 2011b; Kemenes et al., 2007, 2011; Köppen, 1936), debido a que se generan menores emisiones de GEIs en zonas climáticas con bajo contenido de carbono biogénico. Esto contrasta con la situación en zonas climáticas tropicales, amazónicas o africanas, en las que los contenidos de carbono que llegan a las CCHH son muy altos, generando procesos de descomposición de la materia orgánica que se ven acelerados también por las altas temperaturas (Delsontro et al., 2011; Demarty, 2011a).

En relación a esta primera propuesta también se debe de considerar una reformulación en las estrategias de planeamiento energético a desarrollarse en el futuro. Dado que en la última década se han generado licitaciones y presentado carteras de proyectos a gran

escala de nuevas CCHH ubicadas en la Amazonía peruana (Dourojeanni, 2011). Estas propuestas se deben de reevaluar puesto que las emisiones generadas en embalses de características tropicales amazónicas y con alto contenido de carbono emiten importantes emisiones de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y, en menor medida, N<sub>2</sub>O producto de la inundación de materia orgánica (Rubio et al., 2017). Es por esto que se propone como solución enfocar los nuevos proyectos en zonas con poco contenido de carbón orgánico y en zonas más elevadas, específicamente en las cuencas alto-andinas con el fin de disminuir el área de superficie inundada de forma considerable y reducir las emisiones de GEIs.

En relación con la propuesta mencionada, en base a lo propuesto en la literatura, en la Tabla 5 se presenta una estimación de las emisiones de GEIs promedio de acuerdo al tipo de clima en donde se encuentra el embalse por hectárea (Barros et al., 2011; Hertwich, 2013).

**Tabla 5.** Estimación de las emisiones de GEI generadas en un embalse de acuerdo al tipo de clima por hectárea.

| Sistema                | Emisiones de Carbono ( $\times 10^{12} \text{ g yr}^{-1}$ ) por Ha |                   |         |                    |
|------------------------|--|-------------------|---------|--------------------|
|                        | C-CO <sub>2</sub>  | C-CH <sub>4</sub> | Total C | CO <sub>2</sub> eq |
| Boreal                 | 0.75   | 0.03              | 0.88    | 3.88               |
| Templado               | 0.38   | 0.01              | 0.38    | 1.85               |
| Tropical               | 3.08   | 0.25              | 3.33    | 19.42              |
| Tropical-Amazónico     | 4.00   | 0.50              | 4.50    | 31.50              |
| Tropical- No Amazónico | 2.50   | 0.15              | 2.70    | 14.30              |

La información presentada en la Tabla 5 sugiere que al construir embalses en zonas amazónicas, la emisión de GEIs es bastante mayor en comparación con los otros escenarios propuestos, principalmente en las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. Por este motivo, se recomienda no construir CCHH tipo embalse en zonas con condiciones tropicales

amazónicas, dado que es el clima en donde mayores emisiones de GEIs se generan por  $\text{km}^2$  de embalse en comparación con los otros escenarios. Específicamente, las emisiones generadas por la inundación en embalses en la selva peruana podrían ser hasta 17 veces mayor en comparación con las emisiones generadas en embalses ubicados en la zona de los Andes, que poseen características frías y áridas.

***Implementación de estrategias de reducción de acceso de nutrientes a los cauces del río que derivan en CCHH***

En segundo lugar, una propuesta complementaria de mitigación de GEIs es la implementación de estrategias de reducción de acceso de nutrientes a los cauces del río y en las cuencas que derivan en CCHH. Esta medida permitiría prevenir la estratificación en los embalses y mitigar las emisiones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  (específicamente a partir de la reducción de P y  $\text{NO}_3^-$ ) producto de la reducción de oxígeno por eutrofización. Por tal motivo, se recomienda colocar los reservorios en lugares controlados y estratégicos, situados por encima de las fuentes de nutrientes de origen antrópico como centros poblados y comunidades (Deemer et al., 2016).

***Implementación de normativas para realizar la construcción de futuras CCHH en zonas en donde no se vea afectada la generación de energía por el cambio climático***

Como última medida en la mitigación de emisiones de GEIs se debe de tomar en consideración para futuros proyectos de construcción la modificación de las condiciones climáticas por la variación de la temperatura y el clima producto del calentamiento global. Esta problemática se presenta en la reducción de la superficie glaciar producto del derretimiento y el aumento de temperatura en las zonas altas (Bradley et al., 2006; Vergara et al., 2007). A medida que se reduce el área del glaciar, el flujo de agua

disminuye anualmente. Esta disminución de la superficie de los glaciares en el ande peruano influye de forma directa en la capacidad de producción de energía eléctrica de las CCHH, como es el caso del río Santa en Áncash. En este caso, el flujo del río se ve afectado por la reducción del área de los glaciares que generan los embalses naturales. Esta modificación del aporte natural del glaciar al río Santa pone en riesgo la cantidad de producción de la CH el Cañón del Pato, el cual genera un promedio 1540 GWh anual (MINEM, 2006) y se ha estimado que con la reducción del flujo de los glaciares en un 50% su generación se reducirá a 1250 GWh anual (10,9%). Por último, se estima que cuando desaparezca la contribución de los glaciares por completo, su generación se reduciría hasta 970 GWh anual (14.5%) (Bradley et al., 2006; Vergara et al., 2007). En la Tabla 6 se muestra el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>eq a medida que se reduce la superficie glaciar para el caso de la CH el Cañón del Pato. Esta cuantificación se realizó a partir de la huella de carbono obtenida anteriormente de 6,79 g CO<sub>2</sub>eq por 1 kWh de energía producido, sin considerar las emisiones biogénicas que acontecen en la zona de reservorio.

**Tabla 6.** Variación de las emisiones de CO<sub>2</sub>eq en la CH Cañón del Pato a partir de la reducción de la superficie glaciar.

| Porcentaje de Superficie Glaciar | Producción de energía eléctrica a nivel nacional (GWh) | g CO <sub>2</sub> eq/kWh |
|----------------------------------|--|--------------------------|
| 100%                             | 1540   | 6.79                     |
| 50%                              | 1250   | 8.37                     |
| 0%                               | 970  | 10.78                    |

Finalmente, la Tabla 6 muestra que las emisiones, representadas en gramos de CO<sub>2</sub>eq/kWh aumentan hasta en un 40% a medida que se pierde la superficie glaciar. Por último, es importante considerar que tanto el control de la entrada de nutrientes



antrópicos en las cuencas de los embalses y el control del tamaño de las superficies glaciares sirven como mecanismo para controlar la cantidad de emisiones GEIs. Pese a la significancia de lo antes mencionado, los estudios indican que la ubicación geográfica de una presa juega un rol mucho más importante que los factores antes mencionados. Por ejemplo, en las zonas tropicales amazónicas las emisiones potenciales superan en demasía a los demás escenarios debido a la gran cantidad de carbono equivalente biogénico que generan producto de las inundaciones.

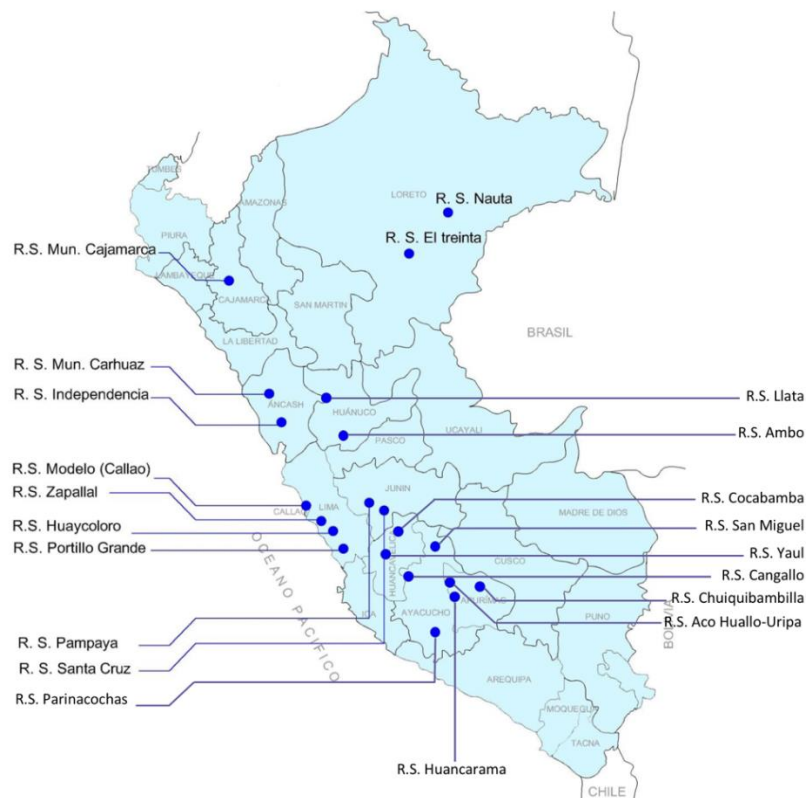
## **Conclusiones**

Con la profundización del estudio que se está desarrollando en el marco de la Actividad 8 del presente proyecto, en el que se pretende elaborar inventarios de ciclo de vida detallados de la producción de energía en centrales hidroeléctricas del Perú, se espera poder entregar cómputos más específicos del impacto ambiental de dichas infraestructuras y de la energía que producen. En este sentido, se espera que las estrategias de planeamiento energético deberían apuntar a proyectos en zonas con baja densidad de carbono biogénico, con el fin de elegir las alternativas menos nocivas ambientalmente. De hecho, estas emisiones biogénicas tienden a ignorarse en muchos estudios a nivel nacional en todo el planeta, ocasionando una infraestimación de emisiones de GEIs ligados a la producción de energía en centrales hidroeléctricas. Asimismo, la pérdida de masa glacial a lo largo del siglo XXI, y una distribución de precipitaciones esperada más errática, hacen necesario que se modele la producción de energía hidroeléctrica en el país a mediano plazo, identificando cuáles serán los impactos en términos de emisiones de GEIs y otros impactos ambientales. Por último, se espera que estas acciones permitan evaluar si amerita incluir a las centrales

hidroeléctricas en la estrategia de iNDCs, ya que actualmente no hay ninguna acción relacionada con este subsector.

## RELLENOS SANITARIOS

Según el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024, en el año 2014 se generaron 7.497.482 toneladas de residuos sólidos municipales, de los cuales solo el 44% fue dispuesto adecuadamente en un relleno sanitario, siendo el resto dispuesto de manera inapropiada en el medio ambiente, a través de botaderos informales u otras estrategias poco recomendables. Asimismo, se estima que Perú necesita unos 190 lugares de disposición final de residuos sólidos, pero para el mismo año solo contaba con 21 emplazamientos de esta naturaleza (MINAM, 2016). En la Figura 5 se puede observar la ubicación de los 21 rellenos sanitarios existentes en el año 2015.



**Figura 5.** Ubicación de los rellenos sanitarios en el Perú. Fuente: Adaptación del *Sexto informe nacional de residuos sólidos de la gestión del ámbito municipal y no municipal 2013* y del *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016 – 2024*.

## **Relenos Sanitarios: Identificación de GEI**

La gestión inadecuada de los residuos sólidos es una fuente de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) importante, ya que el proceso de descomposición de los desechos orgánicos genera diversos GEIs, principalmente  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  (Kirkeby et al., 2007). Estos gases, al no ser manejados de manera correcta, son emitidos directamente al ambiente, contribuyendo al calentamiento del planeta. Además, se estima que el carbono (C) constituye entre 75 y 105 kg por tonelada de residuos sólidos municipales (Manfredi et al., 2009), y este es emitido en forma de biogás al ocurrir la descomposición anaeróbica de los mismos (Manfredi et al., 2009). Adicionalmente, el  $\text{CH}_4$  y el  $\text{N}_2\text{O}$ , los dos gases de efecto invernadero más importantes después del  $\text{CO}_2$ , tienen un factor de caracterización de 28 y 265 (Potencial de Calentamiento Global), respectivamente, según el Panel Intergubernamental por el Cambio Climático – IPCC (IPCC, 2013), lo que implica un elevado aporte al calentamiento global; 28 y 265 veces, respectivamente, más altos que el aporte del  $\text{CO}_2$ .

El  $\text{CH}_4$  es el principal componente del biogás, ya que se estima que el biogás contiene entre 50 y 60% de  $\text{CH}_4$  (Naskeo Environment, s.f.). Al ocurrir la combustión del metano, este reacciona con el oxígeno y se produce  $\text{CO}_2$ , agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y calor. A este proceso se le denomina pirólisis oxidativa, y ayuda a reducir considerablemente el aporte al cambio climático, ya que como se mencionó anteriormente, el  $\text{CH}_4$  tiene un potencial de calentamiento global 28 veces más grande que el  $\text{CO}_2$  (Quesada et al., 2007). Dicho esto, es claro que tanto la simple quema del biogás como la obtención de energía de los rellenos sanitarios (la cual requiere una infraestructura más sofisticada) son dos opciones muy favorables para reducir el impacto ambiental en el sector.

Actualmente, el único relleno sanitario a nivel nacional con generación de energía es el relleno sanitario de Huaycoloro, ubicado en el extrarradio de la ciudad de Lima, el cual tiene una potencia instalada de 4.8 MW (Petramás, s.f.). Esto reduce considerablemente las emisiones de GEI del relleno sanitario e incluso puede llegar a evitarlas (Manfredi et al., 2009). En cuanto al resto de emplazamientos, solo ocho rellenos cuentan con sistemas de quema de biogás, mientras que el resto de rellenos sanitarios emiten el gas directamente a la atmósfera (MINAM, 2013).

Considerando la situación actual del manejo de residuos sólidos en el país y que una tonelada de residuos sólidos municipales contiene aproximadamente 75 kg de C (asumiendo el límite inferior y siendo conservadores en los cálculos), y que el factor de descomposición ( $D_{LFG}$ ) del carbono biogénico a biogás es de 0,50 (Barlaz, 1998; US EPA, 2006; Manfredi et al., 2009), se realizarán los cálculos estimados de las emisiones de GEI producidas en la actualidad. Asimismo, se asume que para una tonelada de residuos sólidos municipales rellenos el 55% de la masa del C biogénico se convierte en  $CH_4$  y el 45% en  $CO_2$  (Manfredi et al., 2009), y que el volumen ocupado por 1 kg de  $CH_4$  es  $1,40 \text{ m}^3$  en condiciones estándar, la cantidad total estimada de  $CH_4$  y  $CO_2$  generado en 100 años por tonelada de desechos sería la siguiente:

$$G_{CH_4} = C \times D_{LFG} \times \frac{55}{100} \times \frac{16}{12} \times 1,4 = 38,5 \text{ m}^3 = 27,5 \text{ kg}$$

$$G_{CO_2} = G_{CH_4} \times \frac{45}{55} = 31,5 \text{ m}^3 = 22,5 \text{ kg}$$

Consecuentemente, son emitidos  $38,5 \text{ m}^3$  de  $CH_4$  y  $31,5 \text{ m}^3$  de  $CO_2$ , es decir, 792,5 kg  $CO_2$ -equivalente ( $CO_2$ -eq), por lo que en la situación actual, donde el 56% de los residuos sólidos municipales son dispuestos de manera inadecuada, es decir 4.198.590 toneladas, se emiten a lo largo de 100 años 3,33 Mt de  $CO_2$ -eq.

## **Propuestas de mitigación de gases de efecto invernadero (GEIs) en rellenos sanitario**

Con respecto a las propuestas de reducción de GEIs que se pretenden recomendar en el marco de este proyecto, se proponen para la construcción y manejo de rellenos sanitarios algunas acciones de mejora de acuerdo a estudios científicos existentes en la literatura.

### ***Implementación de rellenos sanitarios con quema de gas a nivel nacional y reemplazo de botaderos informales***

Con la aplicación de esta medida, las emisiones del sector se verían sustancialmente disminuidas, ya que se iría de una situación de emisión directa de GEI a la atmósfera, como es el caso de los botaderos informales, a un escenario en el que las emisiones serían controladas. Siguiendo la línea de los cálculos realizados anteriormente y teniendo en cuenta las mismas asunciones (1 tonelada de residuos sólidos municipales contienen 75 kg de C, y que el  $D_{LFG}$  es de 0,50), se realizarán los cálculos de las emisiones evitadas con esta medida de reducción de GEI.

De igual manera, se considera que para una tonelada de residuos sólidos municipales dispuestos en un relleno el 55% de la masa del C biogénico se convierte en  $CH_4$  y el 45% en  $CO_2$  (Manfredi et al., 2009), y que el volumen ocupado por 1 kg de  $CH_4$  es  $1,40 m^3$  en condiciones estándar, la cantidad total estimada de  $CH_4$  y  $CO_2$  generado en 100 años por tonelada de desechos sería la siguiente:

$$G_{CH_4} = C \times D_{LFG} \times \frac{55}{100} \times \frac{16}{12} \times 1,4 = 38,5 m^3 = 27,5 kg$$

$$G_{CO_2} = G_{CH_4} \times \frac{45}{55} = 31,5 m^3 = 22,5 kg$$

A diferencia de la situación actual, en el caso donde existe quema del biogás, la emisión total de CH<sub>4</sub> está dada por la emisión dispersiva en la superficie del relleno y la emisión del CH<sub>4</sub> sin oxidar de los quemadores. La eficiencia de la colección está dada por el parámetro  $\varepsilon$ , la eficiencia oxidativa de los quemadores por el parámetro  $\beta$  y la eficiencia de los quemadores por el parámetro  $\eta$ . La eficiencia de colección de biogás a lo largo de un período de 100 años es aproximadamente entre 50 y 80%, la eficiencia de oxidación de 50% y la eficiencia de los quemadores de entre 95 y 99% (Manfredi et al., 2009). En base a estas consideraciones, se obtiene que:

$$CH_{4Dispersivo} = G_{CH_4} \times (1 - \varepsilon) \times (1 - \beta) = 3,85 - 9,63 \text{ m}^3 = 2,75 - 6,88 \text{ kg}$$

$$CH_{4Quemadores} = G_{CH_4} \times \varepsilon \times (1 - \eta) = 0,16 - 1,26 \text{ m}^3 = 0,11 - 0,90 \text{ kg}$$

Una situación similarmente ocurre con el CO<sub>2</sub>, donde las emisiones están dadas por el CO<sub>2</sub> dispersivo en la superficie del relleno y la emisión de los quemadores:

$$\begin{aligned} CO_{2Dispersivo} &= G_{CO_2} \times (1 - \varepsilon) + G_{CH_4} \times (1 - \varepsilon) \times \beta = 10,15 - 25,38 \text{ m}^3 \\ &= 7,25 - 18,13 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CO_{2Quemadores} &= G_{CO_2} \times \varepsilon + G_{CH_4} \times \varepsilon \times \eta = 34,04 - 55,69 \text{ m}^3 = 24,31 - \\ &39,78 \text{ kg} \end{aligned}$$

Finalmente, se observa que de producirse la quema del biogás, serían emitidos, por tonelada de residuos sólidos municipales, entre 2,86 y 7,78 kg de CH<sub>4</sub> y entre 34,46 y 65,16 kg de CO<sub>2</sub>, es decir, entre 114,5 y 283,0 kg de CO<sub>2</sub>eq. En este sentido, suponiendo que las 4.198.590 toneladas dispuestas anualmente de manera inadecuada, solo se emitirían entre 0,48 y 1,19 Mt de CO<sub>2</sub>-eq en 100 años. Es decir, de aplicar la quema de biogás a los rellenos sanitarios, se reducirían las emisiones de estos en entre 64 y 86%. La Tabla 7 muestra los resultados finales de emisiones actuales y las que potencialmente podrían reducirse al aplicar esta medida.

**Tabla 7.** Emisiones actuales y potencialmente reducibles en 100 años con la disposición adecuada de todos los residuos sólidos municipales anuales en rellenos sanitarios con quemadores de biogás

| Emisiones Actuales por uso de botaderos (Mt CO <sub>2</sub> -eq) | Emisiones Esperadas por rellenos con quema de biogás (Mt CO <sub>2</sub> -eq) | Emisiones Reducidas por quema de biogás (Mt CO <sub>2</sub> -eq) |
|--|---|--|
| 3,33   | 0,48 – 1,19   | 2,14 – 2,85  |

***Implementación de plantas de producción energética a partir de biogás en rellenos que cuenten con sistema de captación y quema de gas***

La implementación de esta medida demandaría mayor inversión inicial en comparación con la medida mencionada anteriormente, ya que se requiere equipamiento adicional al que tendría un relleno sanitario con quemadores, pero la producción de energía y su consecuente integración al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) compensarían y retribuirían dicha inversión. En este escenario, a diferencia del escenario planteado con anterioridad, no solo se emitirían menos GEI a la atmósfera, sino también se podría llegar a evitar emisiones debido a la disminución de la demanda de energía proveniente de otros combustibles fósiles aportantes al SEIN.

El escenario de producción de biogás se llevaría a cabo de la misma manera a la que se expuso en la medida propuesta anteriormente, pero adicionalmente dicho gas sería empleado en la generación eléctrica. Considerando que la eficiencia de colección del gas ( $\varepsilon$ ) es de entre 50 y 80%, que la eficiencia de recuperación energética de la planta de energía ( $\lambda$ ) es de entre 25 y 35%, que el CH<sub>4</sub> es convertido en CO<sub>2</sub> biogénico con una eficiencia ( $\eta$ ) de entre 95 y 99% y que el parámetro de eficiencia oxidativa del CH<sub>4</sub> en la cobertura superior del relleno ( $\beta$ ) es de 50% (Manfredi et al., 2009), y aplicando las ecuaciones mostradas anteriormente, se tiene que:



$$G_{CH_4} = C \times D_{LFG} \times \frac{55}{100} \times \frac{16}{12} \times 1,40 = 38,50 \text{ m}^3 = 27,50 \text{ kg}$$

$$G_{CO_2} = G_{CH_4} \times \frac{45}{55} = 31,50 \text{ m}^3 = 22,50 \text{ kg}$$

$$CH_{4Dispersivo} = G_{CH_4} \times (1 - \varepsilon) \times (1 - \beta) = 3,85 - 9,63 \text{ m}^3 = 2,75 - 6,88 \text{ kg}$$

$$CH_{4Planta\text{ Energética}} = G_{CH_4} \times \varepsilon \times (1 - \eta) = 0,16 - 1,26 \text{ m}^3 = 0,11 - 0,90 \text{ kg}$$

$$CO_{2Dispersivo} = G_{CO_2} \times (1 - \varepsilon) + G_{CH_4} \times (1 - \varepsilon) \times \beta = 10,15 - 25,38 \text{ m}^3 \\ = 7,25 - 18,13 \text{ kg}$$

$$CO_{2Planta\text{ Energética}} = G_{CO_2} \times \varepsilon + G_{CH_4} \times \varepsilon \times \eta = 34,04 - 55,69 \text{ m}^3 = \\ 24,31 - 39,78 \text{ kg}$$

Por último se debe calcular el factor de calentamiento global (FCG) evitado por la producción eléctrica en el relleno sanitario. Este factor depende de la cantidad de  $CH_4$  que es proporcionado a la planta energética, del contenido energético (CE) del  $CH_4$ , el cual es de  $37 \text{ MJ/m}^3$  y equivale a  $10,30 \text{ kWh/m}^3$  (Manfredi et al., 2009) y de la emisión de  $CO_2$ -eq por la producción eléctrica (PE) en Perú la cual es de  $0,33 \text{ kg } CO_2\text{-eq/kWh}$ , pero es importante destacar que este valor está elevándose gradualmente por el aumento del uso de energía termoeléctrica debido a su rápida implementación ante el incremento de demanda (Vázquez-Rowe et al., 2015). Por lo tanto, la ecuación resultante es la siguiente:

$$FCG = -G_{CH_4} \times \varepsilon \times EC \times \lambda \times PE = -58,94 - -132,02 \text{ kg } CO_2 - eq$$

Por último, se tiene que de producirse la recuperación energética del biogás, serían emitidos, por tonelada de residuos sólidos municipales, entre 2,86 y 7,78 kg de  $CH_4$  y entre 34,46 y 65,16 kg de  $CO_2$ , lo que sería igual a entre 114,5 y 283,0 kg de  $CO_2$ -eq, pero al mismo tiempo se evitaría la emisión de entre 58,94 y 132,0 kg de  $CO_2$ -eq por el reemplazo del uso de la electricidad proveniente del SEIN. Entonces, de tratarse las

4.198.590 toneladas que actualmente son dispuestas anualmente de manera inadecuada, en el caso más favorable se evitaría la emisión de 73.391 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq y en el caso menos favorable solo se emitirían 940,7 kt de CO<sub>2</sub>-eq en 100 años. En otras palabras, la reducción de emisiones de GEI se daría en entre un 72 y 102%. A continuación, la Tabla 8 muestra los resultados finales de emisiones actuales y las que potencialmente podrían reducirse al aplicar esta medida.

**Tabla 8.** Emisiones actuales y potencialmente reducibles en 100 años con la disposición adecuada de todos los residuos sólidos municipales anuales en rellenos sanitarios con quemadores de biogás

| <b>Emisiones Actuales por uso de botaderos (Mt CO<sub>2</sub>-eq)</b> | <b>Emisiones Esperadas por rellenos con recuperación energética (kt CO<sub>2</sub>-eq)</b> | <b>Emisiones Reducidas por recuperación energética (Mt CO<sub>2</sub>-eq)</b> |
|---|--|---|
| 3,33  | -73,39 – 940,74  | 2,39 – 3,40   |

Por último, en la Tabla 9 se muestra, a manera de resumen, las medidas propuestas de reducción de emisiones y sus efectos eventuales al ser aplicadas.

**Tabla 9.** Medidas de reducción de emisiones propuestas, emisiones actuales y potencialmente reducibles en 100 años.

| <b>Medida de Reducción</b> | <b>Emisiones Actuales por uso de botaderos (Mt CO<sub>2</sub>-eq)</b> | <b>Emisiones Esperadas con la aplicación de las medidas (kt CO<sub>2</sub>-eq)</b> | <b>Emisiones Reducidas por las medidas aplicadas (Mt CO<sub>2</sub>-eq)</b> |
|----------------------------|---|--|---|
| Quemadores de Biogás       | 3,33  | 480,91 – 1.188   | 2,14 – 2,85   |
| Recuperación energética    | 3,33  | -73,39 – 940,7   | 2,39 – 3,40   |

Actualmente, la Contribución Nacional Determinada (iNDCs) del Perú plantea alcanzar la reducción de 3.10 Mt de CO<sub>2</sub>-eq en el año 2030 por la aplicación de quemadores de biogás y recuperación energética en rellenos sanitarios (MINAM, 2015). Las medidas propuestas en el presente informe siguen la misma línea de las iNDCs, ya que lo propuesto en las iNDCs está en el rango de valores planteado anteriormente, e incluso se podría alcanzar una mayor cantidad de emisiones anuales mitigadas de aplicarse por completo dichas medidas. Por lo tanto, la aplicación total de estas medidas beneficiaría al país en el cumplimiento de los objetivos planteados en el marco del Acuerdo de París, firmado en 2015.

## **Conclusiones**

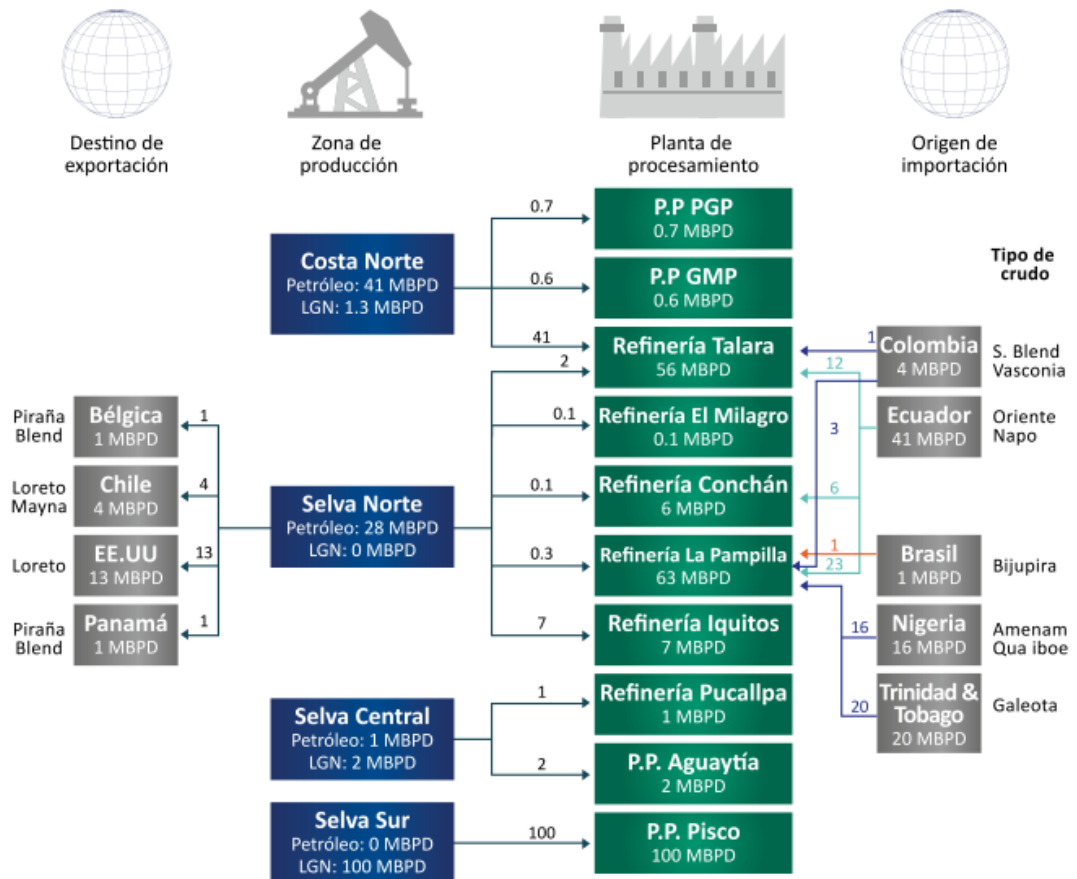
Actualmente, las iNDCs del Perú plantea alcanzar la reducción de 3.10 Mt de CO<sub>2</sub>eq en el año 2030 por la aplicación de quemadores de biogás y recuperación energética en rellenos sanitarios (MINAM, 2015). Las medidas propuestas en el presente informe siguen la misma línea de las iNDCs, ya que lo propuesto en las iNDCs está en el rango de valores planteado anteriormente, e incluso se podría alcanzar una mayor cantidad de emisiones anuales mitigadas de aplicarse por completo dichas medidas. Por lo tanto, la aplicación total de estas medidas beneficiaría al país en el cumplimiento de los objetivos planteados en el marco del Acuerdo de París, firmado en 2015.

## **PRODUCTOS DE REFINERÍA**

El consumo de recursos energéticos, tales como combustibles líquidos, gas natural, carbón, energía nuclear y energía renovable se encuentra en constante crecimiento. En este sentido, según proyecciones de la EIA de Estados Unidos (2016), se observa que para el año 2040 el incremento mundial en el consumo de energía se estima en un 48% con respecto al año 2015. A pesar de los cambios actuales en la matriz energética de la gran mayoría de países, los combustibles fósiles seguirían siendo la fuente de energía más utilizada. Asimismo, las emisiones de GEIs generadas por la producción de energía y el uso de combustibles líquidos en el sector transporte representan el 39% del total de las emisiones antrópicas globales (IPCC 2014). Esto hace notar que el sector energía es un rubro importante en el cual se pueden lograr mitigaciones significativas de GEIs, centrándose principalmente en el sector de refinerías de petróleo, debido a que estas están involucradas en el procesamiento del crudo que se utiliza tanto para la producción de combustibles líquidos para vehículos automotores como para la generación de electricidad. Según estimaciones de la EPA (2017), este sector generó aproximadamente el 3% de las emisiones totales de GEIs de Estados Unidos en el 2014.

En el Perú existen siete refinerías de petróleo, a través de las cuales se abastece gran parte de la demanda total de combustibles del país. Estas refinerías procesan crudos nacionales e importados. En la Figura 6 se puede ver el diagrama de flujo de los combustibles en el país, destacándose la importación de crudo de Colombia, Ecuador, Brasil, Nigeria y Trinidad y Tobago, con un flujo cercano a los 100 millones de barriles de petróleo al día (MBPD), a los que se suma la producción nacional que equivale a

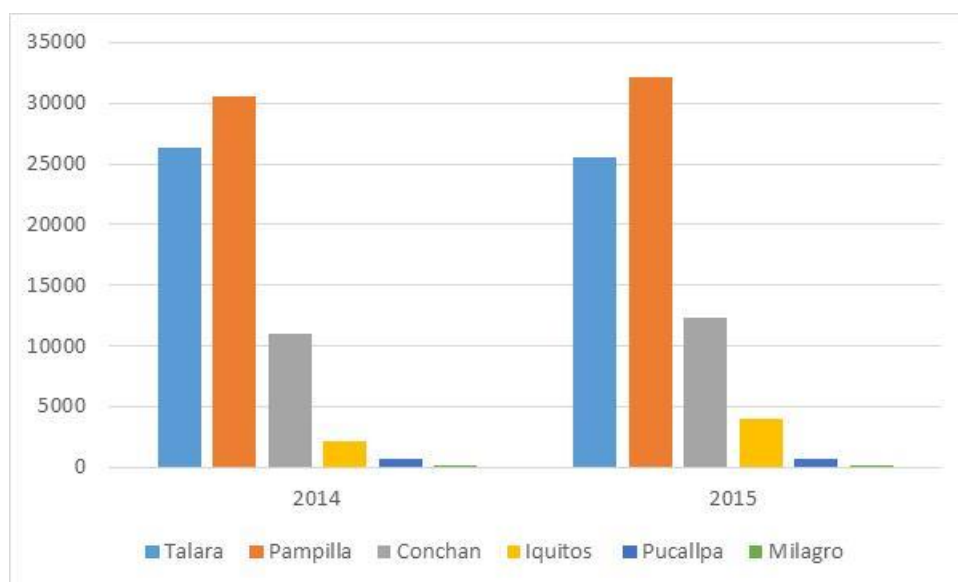
unos 60 MBPD para el consumo interno y alrededor de 20 MBPD que se exportan principalmente a Estados Unidos, Chile Panamá y Bélgica.



**Figura 6.** Diagrama de flujo de los Hidrocarburos en Perú. Los flujos están cuantificados en millones de barriles de petróleo al día (MBPD). Fuente: (OSINERGMIN, 2015)

En el contexto peruano, las refinerías tienen una antigüedad mayor a los 80 años, lo cual es una gran diferencia con las refinerías europeas, de las cuales más del 70% tienen una antigüedad de 60 años (European Commission, 2015). Durante el periodo 2011-2015, las refinerías gestionadas por Petroperú fueron las que en conjunto produjeron más del 50% de los derivados, lo cual hace ver la gran importancia que tiene esta empresa estatal en el abastecimiento de derivados para el país. De todas las refinerías existentes en Perú, las de Talara, La Pampilla y Conchán procesan casi la totalidad de los

productos refinados. La Figura 7 presenta la cantidad de productos refinados en el país por refinería.



**Figura 7.** Producción de derivados por refinería para los años 2014 y 2015. Fuente: (MINEM, 2015)

La refinería que tiene el mayor nivel de producción es la refinería de La Pampilla, con casi el 43% del total de producción tanto en el año 2014 como en el 2015. La refinería de Talara está ubicada en el segundo puesto en cuanto a volumen de producción, con un 37% en el 2014 y un 34% en 2015. En tercer lugar, se encuentra la refinería Conchán, con un 16% de producción para el 2014 y un 17% para el 2015. Por su parte, la refinería de Iquitos representó un 5% de la producción total en 2015. Estas cuatro refinerías agrupan el 99% de la producción total para el 2015.

#### *Índice de complejidad de Nelson*

El índice de complejidad de Nelson es un indicador ampliamente utilizado en el sector de refinerías, tanto para clasificarlas de acuerdo a su nivel de complejidad, como para realizar estimaciones de costos, elegir la aplicación de un modelo de cálculo para el

precio de venta, calcular los rendimientos y márgenes de ganancia, entre otras aplicaciones (Kaiser, 2017). Para el cálculo de dicho índice, se debe asignar un factor a cada una de las unidades que hay en la refinería en función de su costo relativo a una unidad de destilación primaria. El Anexo B del presente documento muestra cómo desarrollar el cálculo de los factores.

### **Productos de refinería: Identificación de GEI**

En la Tabla 10 se muestran las emisiones de GEIs producidas en el sector de refinerías de petróleo, las cuales ascienden a más de 0.70 Mt de CO<sub>2</sub>eq al año. Estas emisiones están principalmente relacionadas a la producción, pues las refinerías de mayor capacidad tienen la mayor cantidad de emisiones. Sin embargo, es necesario destacar que la mayor complejidad de los procesos mejora los índices de emisión, lo cual se demuestra al comparar las emisiones generadas por la refinería de La Pampilla, la cual a pesar de tener mayor producción, genera una menor cantidad de emisiones que, por ejemplo, la refinería de Talara (Bargava et al., 2016; Lambert et al., 2017). En este sentido, las emisiones de GEIs anuales ascendieron a más de 316 mil y 352 mil toneladas de CO<sub>2</sub>eq, para las refinerías de La Pampilla y Talara, respectivamente.

**Tabla 10.** Emisiones totales de GEIs por refinería. Fuente: RELAPASAA, 2016; Petroperu, 2017.

| <b>Refinerías</b> | <b>t CO<sub>2</sub></b> | <b>t CH<sub>4</sub></b> | <b>t N<sub>2</sub>O</b> | <b>t CO<sub>2</sub>eq</b> | <b>% de contribución</b> |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| La Pampilla       | 312125                  | 144                     | 0,71                    | 316354                    | 44%                      |
| Talara            | 348281                  | 161                     | 0,79                    | 353000                    | 49%                      |
| Iquitos           | 26635                   | 2                       | 0,22                    | 26756                     | 4%                       |
| Conchán           | 20752                   | 3                       | 0,04                    | 20847                     | 3%                       |
| <b>TOTAL</b>      | <b>707793</b>           | <b>311</b>              | <b>2</b>                | <b>716957</b>             | <b>100%</b>              |

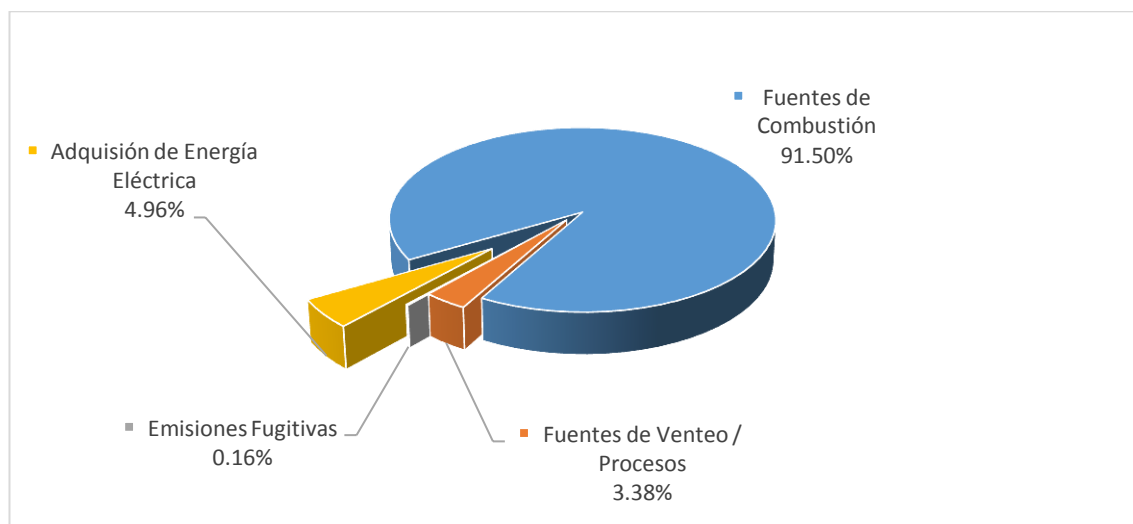
El Inventario de Gases de Efecto Invernadero se realizó siguiendo estándares internacionales, principalmente GHG Protocol (World Resources Institute, 2013) o la norma ISO 14064-1 (ISO, 2006). Estos dos estándares contabilizan las emisiones de forma similar, diferenciándose en una serie de detalles a la hora de desglosar el informe final de inventario. Para las organizaciones se diferencian tres tipos de emisiones:

- **Emisiones de Alcance 1**, también denominadas **Emisiones Directas**. Son los GEIs emitidos de forma directa por la organización, como por ejemplo el uso de combustibles fósiles en maquinaria o vehículos propiedad de la organización, pérdidas de gases refrigerantes o reacciones químicas durante los procesos productivos de la organización.
- **Emisiones de Alcance 2** o **Emisiones Indirectas** por energía. Son los GEIs emitidos por el productor de la energía requerida por la organización. Dependen tanto de la cantidad de energía requerida por la organización como de la matriz energética desde la cual proviene.
- **Emisiones de Alcance 3**, también denominadas **Otras Emisiones Indirectas**. Son las atribuibles a los productos y servicios adquiridos por la organización, que a su vez habrán generado emisiones previamente para ser producidos. Son las más difíciles de contabilizar debido a la gran cantidad de productos y servicios utilizados por las organizaciones y a la dificultad en conocer las emisiones de estos productos o servicios si no son aportadas por el propio productor.

En este estudio se han identificado y calculado las emisiones hasta el Alcance 2. Como se puede apreciar en el Figura 8, más del 90% de las emisiones están ligadas a los procesos de combustión. Estas emisiones sumadas a las que ocurren por el venteo, los

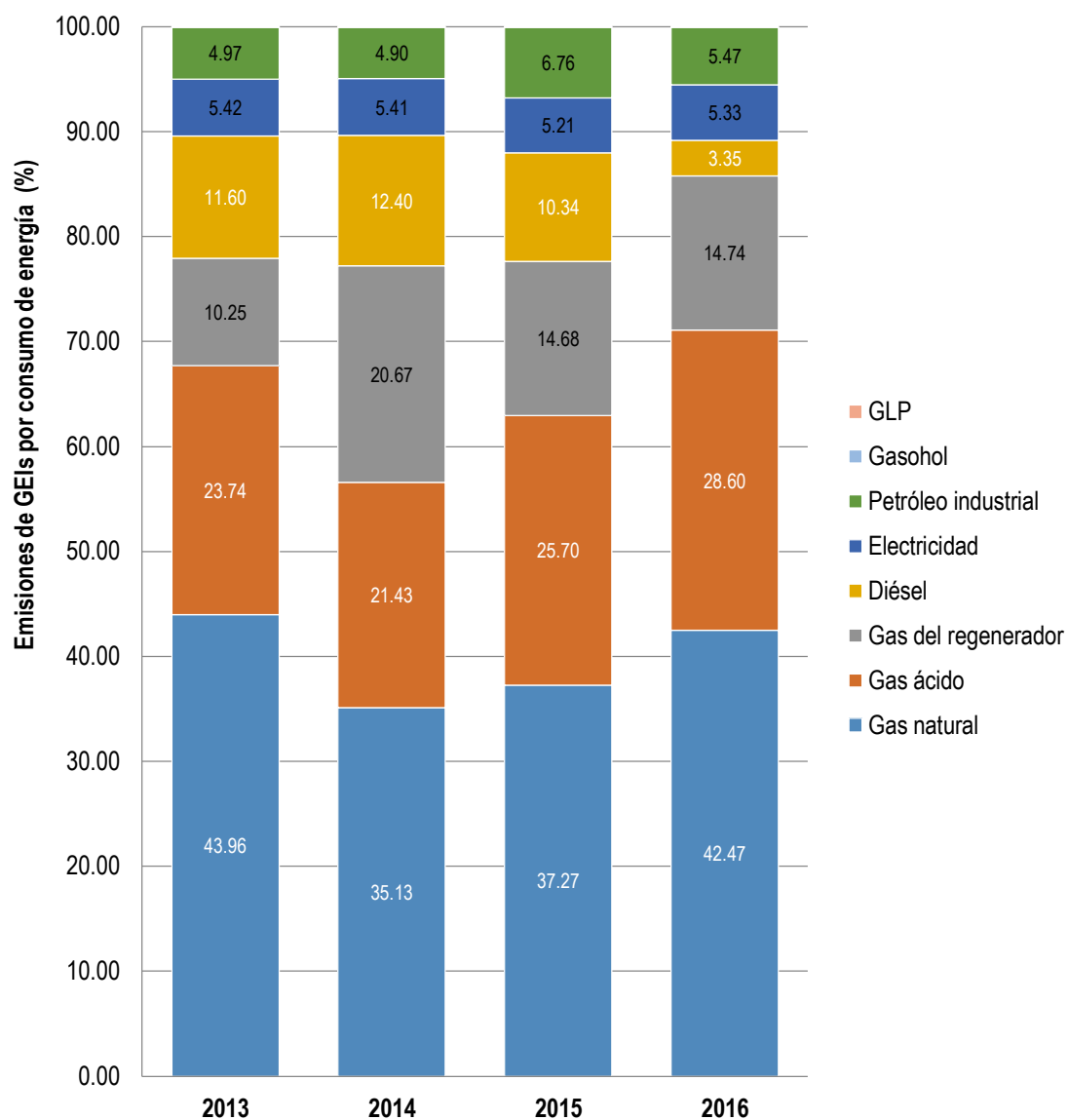


procesos y las emisiones fugitivas, constituyen las emisiones directas (Alcance 1). En este caso se aprecia que las emisiones indirectas más significativas son las provenientes de la energía eléctrica, formando así el Alcance 2.



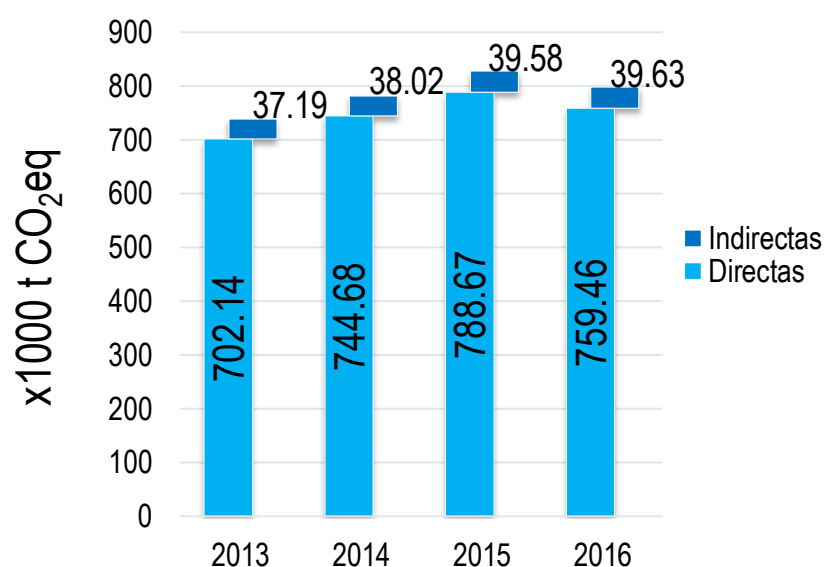
**Figura 8.** Distribución de emisiones de GEIs por tipo de fuente. Fuente: RELAPASAA, 2016; Petroperu, 2017.

Las refinerías administradas por Petroperú utilizan como fuente de combustible gas natural. Asimismo, en estas refinerías se compra energía eléctrica de la red nacional para el funcionamiento de algunos equipos de la planta que así lo requieran. Por otra parte, la refinería de La Pampilla tiene su propia planta de cogeneración de energía eléctrica de ciclo combinado, en la cual se utiliza el gas residual de su propio proceso, así como una compleja relación de intercambios de calor para potenciar la eficiencia del proceso. En la Figura 9 se detalla la composición de las fuentes de energía y su contribución a las emisiones de GEIs para el período 2013 al 2016.



**Figura 9.** Emisiones de GEIs por fuente energética. Fuente: RELAPASAA, 2016; Petroperu, 2017.

Según la suma total anual de emisiones, las fuentes de emisión directa son las predominantes (ver Figura 10), representado en torno a un 95% del total.



**Figura 10.** Distribución de fuentes de Emisiones de GEIs por año. Fuente:

RELAPASAA, 2016; Petroperu, 2017.

## **Propuestas de mitigación de gases de efecto invernadero (GEIs) en productos de refinería**

### ***Mejoras propuestas en otros países***

Diversos países industrializados han desarrollado estudios para evaluar las mejoras aplicables en el sector de refinerías para lograr reducciones significativas en las emisiones de GEIs, ya sea reduciendo el consumo energético, generando ahorros en el consumo de combustible producido dentro de la refinería, o a través de mejoras en la tecnología y complejidad de la planta.

Según un estudio desarrollado en México (Granados et al., 2015; Kaiser, 2017), se ha identificado que un indicador de eficiencia energética dentro de las refinerías es la proporción de crudo procesado utilizado para satisfacer la demanda energética dentro de las refinerías. Se considera que dichas proporciones pueden variar entre un 4% y 8% dependiendo de la complejidad de la refinería. En el caso de refinerías con procesos más

complejos, tales como alquilación o coquización, que permiten obtener productos refinados a partir de los residuos del petróleo procesado, al tener un mayor nivel de complejidad, se requiere un menor consumo de energía para la producción de refinados.

En el caso de Canadá, las refinerías se han esforzado por mejorar la eficiencia energética del proceso de refinamiento de petróleo, así como el desempeño del transporte de los combustibles refinados, con lo cual se ha logrado tener reducciones de hasta un 12% en el 2014 con respecto a las emisiones de GEI generadas en 1990, pasando de 18 millones de toneladas (MT) de CO<sub>2</sub>eq. en 1990 a 16 MT de CO<sub>2</sub> equivalente en 2014 (Canadian Fuels Association, 2017). Asimismo, han identificado los siguientes puntos de mejora para disminuir las emisiones de GEI (Canadian Fuels Association, 2017):

- Mejora continua de la infraestructura para eliminar los cuellos de botella.
- Elaboración de un correcto plan de mantenimiento de la infraestructura.
- Óptima operación de maquinarias y equipos.
- Disminución en el uso de energía por medio de la optimización de los procesos, logrando un 14% de reducción en el consumo de energía desde el año 2009.

En Estados Unidos se ha podido identificar que algunos procesos dentro de las refinerías, tales como el craqueo catalítico, unidades de producción de hidrógeno y plantas de recuperación de azufre, son intensivas en emisiones de CO<sub>2</sub>. Por otro lado, las emisiones de metano principalmente se deben a fugas en los procesos o en los tanques de almacenamiento. En el año 2006 se estimó que las emisiones de las refinerías de petróleo en Estados Unidos ascendieron a un total de 214 millones de

toneladas de CO<sub>2</sub>eq (U.S. EPA, 2008). Además, se logró identificar que las refinerías sin unidades de craqueo catalítico o producción de hidrógeno tienden a generar una mayor cantidad de emisiones de metano.

Como una primera medida de mitigación de emisiones se logró identificar que la mejora en la eficiencia energética es un punto importante por el cual empezar, principalmente porque en el año 2001 el sector de refinerías de petróleo consumió un total de 3,369 billones de BTU y para el año 2005 se logró estimar que las emisiones generadas por el consumo energético en las refinerías de petróleo llegó a 222 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq., representando el 11.6% de las emisiones del sector industrial en Estados Unidos. En la Tabla 11 se muestran las operaciones para cada proceso donde se observa una mayor cantidad de emisiones de GEIs.

**Tabla 11.** Puntos de generación de GEIs en los principales procesos de una refinería.

Fuente: Adaptado U.S. EPA (2008)

| <b>Proceso</b>                           | <b>Puntos de generación de GEI</b>  |
|--|---|
| <b>Craqueo catalítico</b>                | Combustión del coque (carbón sólido con pequeñas cantidades de hidrógeno y otras impurezas).  |
| <b>Unidades de Coqueo</b>                | Emisiones de metano en los sistemas de purga, combustión del coque de petróleo.   |
| <b>Reformado catalítico</b>              | Durante el quemado del coque con las partículas del catalizador, en la despresurización y purga se podrían generar emisiones de metano.   |
| <b>Recuperación de azufre</b>            | Combustible utilizado en el proceso.  |
| <b>Plantas de hidrógeno</b>              | Emisiones de CO <sub>2</sub> como subproducto del proceso del reformado de metano, las emisiones de las plantas de hidrógeno pueden llegar a representar hasta el 25% de emisiones totales de GEI de una refinería. |
| <b>Unidades que carbonizado de coque</b> | Las emisiones generadas durante el proceso se deben principalmente debido a la volatilidad del coque alimentado al carbonizador.  |

También se han logrado identificar diversas mejoras que permiten la disminución de emisiones de GEIs. Estas no solo incluyen la eficiencia energética, sino también la mejora de infraestructura en diversas unidades de procesamiento de la refinería para lograr una mejora integral. En la Tabla 12 se muestra las medidas de control de GEIs, la descripción de dichas medidas y la estimación de la disminución de GEI para cada proceso.

**Tabla 12.** Descripción y reducción de GEIs estimadas por medida de control identificadas por proceso. Fuente: Adaptado de U.S. EPA (2008).

| Proceso                                    | Medida de control de GEI                    | Descripción  | Eficiencia estimada/Reducción de GEI estimada                         |
|--|---|--|---|
| <b>Programas de eficiencia energética</b>  | Medidas de eficiencia energética            | Mejora en los procesos de monitoreo, eficiencia en los motores, optimización de sistemas de aire comprimido e iluminación        | 4-17% del consumo eléctrico   |
| <b>Fuentes de combustión estacionaria</b>  | Preparación del agua para calderos          | Reemplazo del sistema de ablandado del agua por un sistema de tratamiento por osmosis  | hasta 10% en emisiones de GEI   |
|  | Aislamiento                                 | Aislamiento de calderas y tuberías de distribución de vapor  | 3-13% de emisiones del caldero  |
|  | Mantenimiento de trampas de vapor           | implementación de un plan de mantenimiento que incluya inspecciones regulares y mantenimiento de las trampas de vapor            | 1-10% de emisiones del caldero  |
| <b>Unidades de craqueo</b>                 | Recuperación de calor                       | Colocar o mejorar los sistemas de recuperación de calor  | No estimados  |
|  | Regeneradores de alta eficiencia            | Uso de regeneradores de alta eficiencia que incluyan combustión completa de los depósitos de coque catalizado                    | No estimados  |
| <b>Unidades de coquización</b>             | Ventiladores de vapor                       | Menor presión y temperatura del cilindro de coque de 2 a 5 psi y 230°F para minimizar las emisiones directas de los respiradores | 50-80% de reducción en las emisiones directas de metano               |
| <b>Unidades de producción de hidrógeno</b> | Precalentado del aire de combustión y vapor | Uso de sistemas de recuperación de calor para precalentar el sistema de alimentación de vapor y aire de combustión               | 5% de la energía total requerida para la producción de H <sub>2</sub> |
| <b>Unidad de destilación</b>               | Diseño de destilación progresiva            | Proceso de destilación progresiva con una serie de destiladores para evitar calentar en exceso las fracciones ligeras del crudo  | 5% o más de las emisiones totales de la refinería                     |

### ***Propuestas de inversiones para la mitigación de GEI para el sector refinerías en Perú***

Analizando el sector de refinerías en Perú se observó que hay diversos aspectos operacionales en los que se puede mejorar el uso de energía y aumentar la productividad de manera que se pueda tener una disminución importante en las emisiones de GEIs.

#### ***Medidas de mitigación que requieren inversión para el sector refinerías en Perú***

- Una de las primeras mejoras que se puede proponer es incrementar la complejidad de las refinerías, completando los procesos ya existentes con los procesos de hidrocrackeo, alquilación o coquización, de manera que se pueda aprovechar mejor los residuales y obtener una mayor cantidad de producto refinado. Asimismo, estos procesos tienden a incrementar el índice de Nelson de las refinerías y asegurar una mejor eficiencia energética y disminución de emisiones de GEIs.
- Una segunda mejora propuesta sería implementar un proceso de ósmosis inversa para el tratamiento del agua que se usa en el proceso productivo, debido al bajo consumo energético y alta pureza que proporciona este sistema al agua tratado. Esto permitiría tener una reducción de hasta un 10% en las emisiones de GEIs totales de la refinería (U.S. EPA, 2008).
- Para poder incrementar la eficiencia energética se puede implementar una planta de cogeneración de energía con ciclo combinado. Esta medida permitiría generar calor y energía al mismo tiempo y utilizarlos para el proceso productivo. Según datos obtenidos de la base de datos de ecoinvent® se obtuvo que para producir 1 MJ de energía eléctrica generada en una planta de ciclo combinado que utiliza gas natural, se emite 38,2 g de CO<sub>2</sub>eq. (Heck, 2007), mientras que con el mix eléctrico peruano, para producir 1 MJ de energía eléctrica se emiten 96,4 kg de



CO<sub>2</sub>eq. (Vázquez-Rowe et al., 2015). En el caso de Petroperú, por ejemplo, para el año 2015, se usaron más de 25 mil GJ de energía eléctrica, lo cual generó más de 24 mil toneladas CO<sub>2</sub>eq. En caso se hubiera utilizado la planta de cogeneración de energía con ciclo combinado con gas natural se hubiera logrado un ahorro de alrededor de 14 mil t CO<sub>2</sub>eq.

#### *Medidas de mitigación que no requieren inversión para el sector refinerías en Perú*

Además de las medidas mayores de mitigación, las empresas de refinería pueden adoptar una serie de medidas organizativas, estas medidas no requieren de grandes inversiones, pero contribuyen a la eficiencia de las plantas y por consiguiente a su mejor desempeño ambiental.

- Mejora del proceso en la unidad aguas ácidas de la Refinería La Pampilla. Esta medida propone el uso de un control automático para mantener la relación vapor/carga alimentada de 130 kg/m<sup>3</sup>, la temperatura de tope entre 115-116 °C, la temperatura de retorno del reflujo de 97 °C y la presión de tope manométrica de 1,0 kg/cm<sup>2</sup> (98,1 kPa). Como resultado se prevé que la reducción por concepto de ahorro de energía asciende a más de 145 t CO<sub>2</sub>eq al año (Ziritt Cruz, 2009)
- Mejora del sistema de control del proceso de craqueo catalítico en la Refinería la Pampilla. Esta medida impide a formación de carbón en los filtros de succión de las bombas de recirculación de fondos donde la temperatura no debe sobrepasar los 365 °C, evitando picos en la temperatura de fondo. Estos aumentos de la temperatura resultan en un aumento de labores de reparación de las bombas, así como el desaprovechamiento de la energía. Con la implementación de esta

medida se estima una disminución en la emisión de alrededor de 600 t CO<sub>2</sub>eq al año (Landázuri Pineda, 2014).

## **Conclusiones**

El sector de refinado en el Perú presenta todavía en la actualidad un nivel de complejidad y de sofisticación limitado, lo cual hace que numerosos sistemas de refinado a lo largo del país disten de los estándares actuales de eficiencia y, consecuentemente, de emisiones de GEIs asociadas. En este sentido, en el presente documento se identifican una serie de mitigaciones de GEIs que permitirían reducir sustancialmente las emisiones en el sector. En la actualidad, dentro de la Actividad 10 del proyecto, se está procediendo a la creación de inventarios de ciclo de vida detallados de dos refinerías peruanas, que permitirán obtener con mejor resolución y exactitud las emisiones reales que generan estas plantas, con el fin de poder precisar las medidas de mitigación necesarias.

## Conclusiones finales

El análisis combinado de los tres sectores presentados en este reporte muestra una relevancia notable en el contexto peruano de mitigar las emisiones de GEIs con la vista puesta en el cumplimiento de los objetivos fijados en el Acuerdo de París. En este sentido, los resultados, por un lado, confirman el impacto significativo que tendría la formalización y tecnologización del sector de manejo de residuos sólidos de origen urbano. Cabe señalar que este sector ya había sido señalado en el Acuerdo de Copenhague como uno en el que Perú debía, voluntariamente, comenzar a desarrollar una política de reducción de emisiones. En el contexto actual, con el Acuerdo de París en vigor, el Estado peruano se compromete a reducir los GEIs en torno a los 3,10 Mt CO<sub>2</sub>eq dentro de sus contribuciones nacionales, es decir, sus iNDCs, para mitigar el cambio climático. Con las medidas recomendadas en el presente reporte, se estima que se pueden obtener reducciones de GEIs entre 2,39 y 3,40 Mt CO<sub>2</sub>eq, las cuales se encuentran en el mismo rango que las propuestas. En este sentido, los entregables futuros del proyecto IKI (“Avanzando y midiendo consumo y producción sostenible para una economía baja en carbono en economías de ingresos medios y nuevos países industrializados en Perú”), financiado por ONU Medio Ambiente, permitirán concretar de manera más detallada las emisiones en el sector de gestión de residuos sólidos urbanos a través de análisis más específicos de Análisis de Ciclo de Vida, teniendo en cuenta aspectos climáticos y operacionales específicos de los rellenos sanitarios del país.

Los otros dos sectores identificados, hidroelectricidad y refinerías, se pueden englobar dentro de un mismo bloque de energía, el segundo en importancia en las contribuciones nacionales del Perú, después del sector de cambios de uso de suelo. Por un lado, si bien

el sector de centrales hidroeléctricas no es un sector que se identifique con ser intensivo en las emisiones de carbono a la atmósfera, cabe resaltar que esto se debe fundamentalmente a las escasas emisiones que se obtienen por unidad de energía producida. Sin embargo, en ambientes tropicales las emisiones de GEIs biogénicas ligadas al estancamiento de agua para su aprovechamiento energético puede ser notable. Afortunadamente, actualmente en el Perú casi todas las plantas de hidroelectricidad no generan grandes emisiones biogénicas debido a su ubicación medio y altoandinas. Sin embargo, es importante que el Estado comience a incluir en su discurso de generación de energía el hecho de que la ubicación de estas plantas puede tener un rol importante en la estrategia nacional de cambio climático. En este sentido, la estrategia a seguir en el sector hidroeléctrico debe estar encaminada hacia la prevención de intervenciones futuras que puedan poner en riesgo la política de reducción de emisiones. Por ello, en este documento el análisis se centra más en advertir de cómo el sector puede ver como se incrementan sus emisiones en un futuro, que en proponer medidas de mitigación de las centrales ya operativas.

Por otro lado, las refinerías del Perú muestran un grado de eficiencia intermedio, con numerosas intervenciones puntuales que permitirían reducir sustancialmente las emisiones que generan en sus operaciones. En este sentido, hemos distinguido entre dos tipos de medidas. Unas, en las que se requiere de una inversión monetaria considerable, incluyen la transición a plantas de cogeneración de energía con ciclo combinado, la introducción de procesos de ósmosis inversa para el tratamiento del agua que se usa en el proceso productivo o la implementación de sistemas de aprovechamiento de residuales en los procesos ya existentes de hidrocrackeo, alquilación o coquización, que inherentemente ayudarían a obtener una mayor cantidad y mejor calidad del producto

refinado. Otras, de corte organizativo, incluyen la mejora del proceso en la unidad de aguas ácidas y en la mejora del sistema de control del proceso de craqueo catalítico. En este sentido, en el caso de la Refinería de La Pampilla, una de las más relevantes del país en cuanto a volumen de producción, se han identificado reducciones de emisiones de GEIs de más de 800 t CO<sub>2</sub>eq al año a través de medidas organizativas.

El proyecto IKI permitirá establecer, a través de los entregables fijados, inventarios de ciclo de vida detallados para los sectores detallados y analizados en este reporte. En este sentido, se espera que hacia el final del proyecto se puedan volver a cuantificar las mitigaciones esperadas en cada uno de los procesos de manera más precisa con datos primarios en el contexto productivo del Perú.

## Referencias

Aprueban la política energética nacional del Perú 2010 – 2040. Decreto Supremo N° 064 – 2010- EM. (24 de noviembre de 2010). Diario Oficial el Peruano. Recuperado de:

<http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-064-2010-EM-CONCORDADO.pdf>

Banco BBVA Continental (2010). *Perú Situación Automotriz*. Disponible en:

[https://www.bbvaresearch.com/KETD/fbin/mult/peru\\_automotriz\\_2010\\_tcm346-274709.pdf](https://www.bbvaresearch.com/KETD/fbin/mult/peru_automotriz_2010_tcm346-274709.pdf)

Banco Central de Reserva del Perú (2017). Flujos macroeconómicos desde 1990 (Porcentaje del PBI). Disponible en: <http://www.bcrp.gob.pe/estadisticas/cuadros-anuales-historicos.html>.

Barlaz, M. A. (1998). Carbon storage during biodegradation of municipal solid waste components in laboratory-scale landfills. *Global biogeochemical cycles*, 12(2), 373-380.

Barros, N., Cole, J. J., Tranvik, L. J., Prairie, Y. T., Bastviken, D., Huszar, V. L., ... & Roland, F. (2011). Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. *Nature Geoscience*, 4(9), 593-596.

Bhargava, M., Kalita, R., Gentry, J., & Suzuki, N. (2015). Improved distillation efficiency. Disponible en:

[http://www.digitalrefining.com/article/1001301,Improved\\_distillation\\_efficiency.html#WUQx\\_Wg1-00](http://www.digitalrefining.com/article/1001301,Improved_distillation_efficiency.html#WUQx_Wg1-00).

*Biogas composition*. (2017). *Biogas-renewable-energy.info*. Recuperado el 22 de mayo de 2017, de [http://www.biogas-renewable-energy.info/biogas\\_composition.html](http://www.biogas-renewable-energy.info/biogas_composition.html)

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

Canadian Fuels Association. (27 de Marzo de 2017). Environmental Stewardship. Obtenido de Greenhouse Gas Emissions: <http://www.canadianfuels.ca/Environmental-Stewardship/GHGs/>

Canadian Fuels Association. (27 de Marzo de 2017). How Canadian refineries are reducing GHG emissions. Obtenido de <http://www.canadianfuels.ca/Blog/May-2015/How-Canadian-refineries-are-reducing-GHG-emissions/>

Change, I. P. O. C. (2014). IPCC. Climate change.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (2010). *Acuerdo de Copenhague – Apéndice II - Acciones de mitigación apropiadas a nivel nacional de las Partes que son países en desarrollo*. Disponible en: [http://unfccc.int/meetings/cop\\_15/copenhagen\\_accord/items/5265.php](http://unfccc.int/meetings/cop_15/copenhagen_accord/items/5265.php)

Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ) (2015). *Medidas de Mitigación Propuestas de Transporte Urbano Sostenible*. Disponible en: [http://transport-namas.org/wp-content/uploads/2014/04/TRANSPeru\\_NAMA\\_de\\_Transporte\\_Urbano\\_Sostenible-del\\_Peru.pdf](http://transport-namas.org/wp-content/uploads/2014/04/TRANSPeru_NAMA_de_Transporte_Urbano_Sostenible-del_Peru.pdf)

Decreto Legislativo N° 1278. (23 de diciembre de 2016). Diario Oficial el Peruano. Recuperado de: <http://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-legislativo-que-aprueba-ley-gestion-integral-residuos-solidos>

Decreto Supremo N° 012 – 2011 – EM. (23 de marzo de 2011). Diario Oficial el Peruano. Recuperado de: <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-012-2011-EM-CONCORDADO.pdf>

Decreto Supremo N° 29 – 94 – EM. (6 de julio de 1997). Diario Oficial el Peruano. Recuperado de: <http://www.elor.com.pe/portal/wp-content/uploads/2014/04/ds29-94-em.pdf>

Electroperú (2016). *Complejo Hidroeléctrico del Mantaro*. Disponible en: [http://www.electroperu.com.pe/ElectroWebPublica/PaginaExterna.aspx?id=9&modo=s\\_ubmenu&idioma=ESPAÑOL](http://www.electroperu.com.pe/ElectroWebPublica/PaginaExterna.aspx?id=9&modo=s_ubmenu&idioma=ESPAÑOL)

Deemer, B. R., Harrison, J. A., Li, S., Beaulieu, J. J., DelSontro, T., Barros, N., ... & Vonk, J. A. (2016). Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces: A New Global Synthesis. *BioScience*, 66(11), 949-964.

- DelSontro, T., Kunz, M. J., Kempter, T., Wüest, A., Wehrli, B., & Senn, D. B. (2011). Spatial heterogeneity of methane ebullition in a large tropical reservoir. *Environmental science & technology*, 45(23), 9866-9873.
- Demarty, M., Bastien, J., & Tremblay, A. (2011a). Annual follow-up of gross diffusive carbon dioxide and methane emissions from a boreal reservoir and two nearby lakes in Québec, Canada. *Biogeosciences*, 8(1), 41.
- Demarty, M., & Bastien, J. (2011b). GHG emissions from hydroelectric reservoirs in tropical and equatorial regions: Review of 20 years of CH<sub>4</sub> emission measurements. *Energy Policy*, 39(7), 4197-4206.
- Dourojeanni, M. (2011). Hidroeléctricas en la Amazonia. SPDA Actualidad Ambiental. Disponible en: <http://www.actualidadambiental.pe/?p=12775>
- Ecoinvent (2016). Ecoinvent v3 database. Ecoinvent Centre. Disponible en: <http://www.ecoinvent.org/> [Último acceso: 12 de Junio de 2017].
- EIA. (27 de Marzo de 2017). EIA projects 48% increase in world energy consumption by 2040. United States Energy Information and Administration. Obtenido de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=26212>
- Environmental Protection Agency (EPA) (2008). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks.
- EPA. (3 de Abril de 2017). U.S Greenhouse Gas Inventory Report: 1990-2014. Obtenido de <https://www.epa.gov/ghgemissions/us-greenhouse-gas-inventory-report-1990-2014>
- European Commission. (2015). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Refining of Mineral Oil and Gas.



Fearnside, P. M. (2002). Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air, and Soil Pollution*, 133(1-4), 69-96.

Fearnside, P. M. (2005). Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil's Curuá-Una Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 10(4), 675-691.

Giles, J. (2006). Methane quashes green credentials of hydropower.

Goedkoop, M., De Schryver, A., Oele, M., Durksz, S., & de Roest, D. (2008). *Introduction to LCA with Simapro v.7* PRé Consultants, The Netherlands

Granados, E., Bravo, H., Sosa, R., López, X., García, C., & Sánchez, P. (2015). Consumo de energía y emisiones de bióxido de carbono del sector refinación de petróleo en Méxio de 2015-2030. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 503-513.

Hertwich, E. G. (2013). Addressing biogenic greenhouse gas emissions from hydropower in LCA. *Environmental science & technology*, 47(17), 9604-9611.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2014). *Anuario de Estadísticas Ambientales – Capítulo 5: Residuos Sólidos*. Disponible en: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1197/index.html](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1197/index.html)

Intergovernmental Panel on Climate Change (2013). *Climate Change 2013 – The physical Science Basis*. Disponible en: [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_ALL\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf)

International Organization for Standarization (ISO) 14040:2006, *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*.

International Organization for Standarization (ISO) 14044:2006, *Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*.

International Organization for Standardization (ISO) 14048:2002, *Environmental management — Life cycle assessment — Data documentation format*.

IPCC (2014). Climate change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge.

IPCC. (5 de Abril de 2017). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Obtenido de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/>

IPCC. (3 de Abril de 2017). Global Greenhouse Gas emissions data. Obtenido de <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>

Jacobs Consultancy. (2012). EU Pathway Study> Life Cycle Assessment of Crude Oils in a European Context. Alberta.

Jungbluth, N. (2007). Erdöl. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz (Ed. Dones R.). Duebendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Kaiser, M. (2017). A review of refinery complexity applications. *Petroleum Science*, 14, 167-194.

Kemenes, A., Forsberg, B. R., & Melack, J. M. (2007). Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical research letters*, 34(12).

Kemenes, A., Forsberg, B. R., & Melack, J. M. (2011). CO<sub>2</sub> emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil). *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G3).

Kirkeby, J. T., Birgisdottir, H., Bhandar, G. S., Hauschild, M., & Christensen, T. H. (2007). Modelling of environmental impacts of solid waste landfilling within the life-cycle analysis program EASEWASTE. *Waste management*, 27(7), 961-970.

Kojima, M., & Bacon, R. (2009). Changes in CO<sub>2</sub> emissions from energy use. World Bank.

Köppen, Wladimir (1936). "C". In Köppen, Wladimir; Geiger (publisher), Rudolf. Das geographische System der Klimate [The geographic system of climates] (PDF). Handbuch der Klimatologie. 1. Berlin: Borntraeger.

Lambert, N., & Goujard, F. (2017). A broader view to improve energy efficiency. Disponible en: [http://www.digitalrefining.com/article/1001361,A\\_broader\\_view\\_to\\_improve\\_energy\\_efficiency.html#.WUQxqGg1-00](http://www.digitalrefining.com/article/1001361,A_broader_view_to_improve_energy_efficiency.html#.WUQxqGg1-00).

Landázuri Pineda, W. T. (2014). Propuesta de mejora para evitar bajar carga en la unidad de proceso de craqueo catalítico fluido en una empresa dedicada a las actividades de refinación de petróleo. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Ingeniería Industrial. Lima: UPC. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/322245>

LCI (2011). Life Cycle Initiative. Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases. A basis for greener processes and products. 'Shonan Guidance Principles'. ONU Medioambiente.

Manfredi, S., Christensen, T. H., Scharff, H., & Jacobs, J. (2010). Environmental assessment of low-organic waste landfill scenarios by means of life-cycle assessment modelling (EASEWASTE). *Waste Management & Research*, 28(2), 130-140.

Manfredi, S., Tonini, D., Christensen, T. H., & Scharff, H. (2009). Landfilling of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8), 825-836.

Ministerio de Ambiente (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](https://www.nefco.org/sites/nefco.org/files/pdf-files/1_diagnostico_de_los_residuos_solidos_en_el_peru.pdf)

Ministerio de Ambiente (MINAM) (2014). *Sexto informe nacional de residuos sólidos de la gestión del ámbito municipal y no municipal 2013*. Disponible en: <http://redrrss.minam.gob.pe/material/20160328155703.pdf>

Ministerio de Ambiente (2015). *La Contribución Nacional del Perú – iNDC: agenda para un desarrollo climáticamente responsable*. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/11/2015/12/LA-CONTRIBUCI%C3%93N-NACIONAL-DEL-PER%C3%9A1.pdf>

Ministerio de Ambiente (MINAM) (2016). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016 – 2024*. Disponible en: [http://hera.pcm.gob.pe/ecoeficiencia/wp-content/uploads/2016/09/Plan\\_Nacional\\_Gestion\\_Integral\\_Residuos\\_Solidos\\_2016\\_2024.pdf](http://hera.pcm.gob.pe/ecoeficiencia/wp-content/uploads/2016/09/Plan_Nacional_Gestion_Integral_Residuos_Solidos_2016_2024.pdf)

Ministerio de Energía y Minas (MINEM) (2006). Plan referencial de electricidad 2005-2014. Lima, Perú.

Ministerio de Energía y Minas (MINEM) (2010). Balance y principales indicadores Eléctricos. Disponible en: [http://minem.gob.pe/minem/archivos/Cap\\_1\\_%20Balance%20y%20Principales%20Indicadores%202010.pdf](http://minem.gob.pe/minem/archivos/Cap_1_%20Balance%20y%20Principales%20Indicadores%202010.pdf)

Ministerio de Energía y Minas (MINEM) (2011). Balance y principales indicadores Eléctricos. Disponible en: <http://minem.gob.pe/minem/archivos/Capitulo%201%20Balance%20y%20Principales%20Indicadores%202011.pdf>

Ministerio de Energía y Minas (MINEM) (2012). Balance y principales indicadores Eléctricos. Disponible en: <http://minem.gob.pe/minem/archivos/Capitulo%201%20Balance%20y%20Principales%20Indicadores%202012.pdf>

Ministerio de Energía y Minas (MINEM) (2013). Balance y principales indicadores Eléctricos. Disponible en:

<http://minem.gob.pe/minem/archivos/Capitulo%201%20%20Balance%20y%20Principales%20Indicadores%202013.pdf>

Ministerio de Energía y Minas (MINEM) (2014). Balance y principales indicadores Eléctricos. Disponible en:

<http://minem.gob.pe/minem/archivos/Capitulo%201%20%20Balance%20y%20Principales%20Indicadores%202014.pdf>

Ministerio de Energía y Minas (MINEM) (2015). Balance y principales indicadores Eléctricos. Disponible en:

<http://minem.gob.pe/minem/archivos/Capitulo%201%20%20Balance%20y%20Principales%20Indicadores%202015.pdf>

Ministerio del Ambiente de Perú (MINAM). (2010). Inventario de GEI del 2000. Disponible en: <http://cambioclimatico.minam.gob.pe/mitigacion-del-cc/los-niveles-de-emisiones-del-peru/el-inventario-de-gei-del-2000/>

Ministerio de Ambiente (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>

Ministerio de Ambiente (MINAM) (2012). *Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*. Disponible en: <http://raee-peru.pe/pdf/reglamento.pdf>

Ministerio de Ambiente (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](https://www.nefco.org/sites/nefco.org/files/pdf-files/1_diagnostico_de_los_residuos_solidos_en_el_peru.pdf)

Ministerio del Ambiente de Perú (MINAM). (2013). Cambio climático en el Perú y la reducción de emisiones de GEI. Disponible en: <http://www.siicex.gob.pe/SIICEX/resources/calidad/431471990radB63C7.pdf>

Ministerio del Ambiente de Perú (MINAM). (2013). El Perú crece a mayor ritmo que sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/prensa/2013/12/04/el-peru-crece-a-mayor-ritmo-que-sus-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-gei/>

Ministerio del Ambiente (MINAM) (2015). *Generación de Energía Eléctrica*. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Capitulo%203%20Generacion%20electrica%202015%20FINAL.pdf>

Ministerio de Ambiente (2015). *La Contribución Nacional del Perú – iNDC: agenda para un desarrollo climáticamente responsable*. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/11/2015/12/LA-CONTRIBUCI%C3%93N-NACIONAL-DEL-PER%C3%9A1.pdf>

Ministerio del Ambiente de Perú (MINAM). (2015). ¿Por qué Perú es el tercer país más vulnerable al cambio climático? Dirección general de cambio climático, desertificación y recurso hídricos. Perú. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/noticias/peru-tercer-pais-mas-vulnerable-al-cambio-climatico>

Ministerio de Energía y Minas. (2015). Anuario Estadístico de Hidrocarburos 2015. Lima.

Ministerio del Ambiente. (2012). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Lima: <http://infocarbono.minam.gob.pe/inventarios-nacionales-gei/intro/>.

Ministerio del ambiente. (2016). La Contribución Nacional del Perú - iNDC: agenda para un desarrollo climáticamente responsable. Lima.

Ministerio de Ambiente (2016). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016 – 2024*. Disponible en: [http://hera.pcm.gob.pe/ecoeficiencia/wp-content/uploads/2016/09/Plan\\_Nacional\\_Gestion\\_Integral\\_Residuos\\_Solidos\\_2016\\_2024.pdf](http://hera.pcm.gob.pe/ecoeficiencia/wp-content/uploads/2016/09/Plan_Nacional_Gestion_Integral_Residuos_Solidos_2016_2024.pdf)

Ministerio de Energía y Minas (MINEM) (2016). *Avance Estadístico del Subsector Eléctrico*. Disponible en:

[http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Estadistica%20Preliminar%20del%20Subsector%20Electrico%20-%20Noviembre\\_Rev\\_3.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Estadistica%20Preliminar%20del%20Subsector%20Electrico%20-%20Noviembre_Rev_3.pdf)

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) (2017). *Disposiciones de Monitoreo Emitidas*. Disponible en: <http://www.oefa.gob.pe/transparencia/datos-generales/disposiciones-emitidas?node=284>

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) (2015).

La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú. Disponible en:

[http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Libro-industria-hidrocarburos-liquidos-Peru.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro-industria-hidrocarburos-liquidos-Peru.pdf)

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) (2016).

*Central Hidroeléctrica Cerro del Águila*. Disponible en:

[http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/5.1.4.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/5.1.4.pdf)

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) (2016).

*Central Hidroeléctrica Chaglla*. Disponible en:

[http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/5.1.1.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/5.1.1.pdf)

Planificación ante el cambio climático (PLAN CC) (2009). Actualización del Inventario

Nacional de Gases de Efecto Invernadero al año 2009. Disponible en:

<http://planccperu.org/wp-content/uploads/2016/05/Actualizaci%C3%B3n-del-inventario-Versi%C3%B3n-impresión-copia.pdf>

Petroperú (2016). Reporte de gestión de cambio climático. Lima.

Petroperu. (4 de Abril de 2017). Eficiencia energética. Obtenido de <http://www.petroperu.com.pe/Main.asp?Seccion=520>

Petroperu. (4 de Abril de 2017). Eficiencia energética. Obtenido de <http://www.petroperu.com.pe/Main.asp?Seccion=520>

Quesada, R., Salas, N., Arguedas, M., & Botero, R. (2007). Generación de Energía Eléctrica a partir de Biogás. *Revista Tierra Tropical*, 139-147.

Refinería La Pampilla S.A.A (RELAPASAA) (2016). Informe anual de protección ambiental. Lima.

Reliance Industrial Limited. (5 de Abril de 2017). Nelson index. Obtenido de [http://web.archive.org/web/20131018005618/http://www.ril.com/downloads/pdf/business\\_petroleum\\_refiningmktg\\_lc\\_ncf.pdf](http://web.archive.org/web/20131018005618/http://www.ril.com/downloads/pdf/business_petroleum_refiningmktg_lc_ncf.pdf)

*Relleno Sanitario Huaycoloro / Petramás*. (2017). *Petramas.com*. Recuperado el 22 de mayo de 2017, de <http://www.petramas.com/relleno-sanitario-huaycoloro-2/>

Resolución directoral N° 046-2010-EM/DGE. (03 de octubre de 2010). Diario Oficial el Peruano. Recuperado de:

[http://www.gacetajuridica.com.pe/servicios/normaspdf\\_2010/Setiembre/03-09-2010.pdf](http://www.gacetajuridica.com.pe/servicios/normaspdf_2010/Setiembre/03-09-2010.pdf)  
Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) (2017). *Normativa Ambiental*. Disponible en: <http://sinia.minam.gob.pe/normas/buscar>

Rubio, J., Escobedo, A., Vallejos, C., Oyague, E., Vera, A., & Estrada, M. (2017). Marañón: Costo social de los impactos acumulativos de cinco proyectos hidroeléctricos.

ST. Louis, V.L., Kelly, C.A., Duchemin, É., Rudd, J.W., & Rosenberg, D.M. (2000). Reservoir Surfaces as Sources of Greenhouse Gases to the Atmosphere: A Global



Estimate: Reservoirs are sources of greenhouse gases to the atmosphere, and their surface areas have increased to the point where they should be included in global inventories of anthropogenic emissions of greenhouse gases. *BioScience*, 50(9).

US Energy Information Administration (EIA) (2016). *International Energy Outlook 2016*. Disponible en: [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf).

US EPA (2006) *Solid Waste Management and Greenhouse Gases: A Life-cycle Assessment of Emissions and Sink*. 3rd edition. US Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA. Disponible en:

<http://www.epa.gov/climatechange/wycd/waste/downloads/fullreport.pdf>

U.S. EPA. (2008). *Technical Support Document for the Petroleum Refining Sector: Proposed Rule for Mandatory Reporting of Greenhouse Gases*. Washington: Office of Atmospheric Programs.

Vázquez-Rowe, I., Reyna, J.L., García-Torres, S., & Kahhat, R. (2015). Is climate change-centrism an optimal policy making strategy to set national electricity mixes? *Applied Energy*, 159, 108-116.

Vergara, W., Deeb, A., Valencia, A., Bradley, R., Francou, B., Zarzar, A.,... & Haeussling, S. (2007). Economic impacts of rapid glacier retreat in the Andes. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 88(25), 261-264.

World Resources Institute (2013). *Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GEI), estándar corporativo de contabilidad y reporte*. Disponible en: <http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Guia%20C%26P%20Mexico%20V1.0-Spanish.pdf>.

Ziritt Cruz, J.A. (2009). EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD AGUAS ÁCIDAS DE LA REFINERÍA LA PAMPILLA. Ingeniería Química. Lima: Universidad Simón Bolívar.



## Anexo A

**Informe breve indicando el contexto normativo y metodológico en el que se  
desarrollará el avance del proyecto**

**Actividad 4 – Definición línea base**

La Actividad 4 del proyecto, tal y como viene definida en el SSFA firmado entre la PUCP y ONU Medioambiente, indica lo siguiente:

*“Definir los lineamientos para la recolección, procesamiento, validación, registro y publicación de los datos nacionales para inventarios de ciclo de vida, teniendo en cuenta las buenas prácticas internacionales. Dentro de esta actividad se incluirá el desarrollo de una línea base de gases de efecto invernadero (GEI), la cual servirá para demostrar el nivel de identificación de GEI que se pretende delimitar en el proyecto, así como las propuestas de reducción de GEI que se pretenden recomendar a través del proyecto.”*

#### **Desarrollo inicial de la Actividad 4**

El desarrollo de la Actividad 4 se está llevando a cabo a través de la integración del personal investigador encargado de procesos unitarios. En este sentido, se han identificado dos pilares básicos sobre los cuales debe pivotar el desarrollo de los procesos unitarios con perspectiva de ciclo de vida: el metodológico y el normativo.

## **Parte A. Reporte sobre el Marco Metodológico en el que se desarrolla el proyecto IKI**

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión ambiental que posibilita la descomposición de las distintas fases de la existencia de un producto, proceso o sistema, y por ende, ahondar con mayor profundidad en sus procesos de manufactura, uso y disposición. Esto permite, mediante diversas metodologías, determinar los probables impactos que puede tener cada etapa en el ambiente, y en consecuencia tomar decisiones menos lesivas para el mismo. Adicionalmente, el ACV está normado por la Organización Internacional de la Normalización (ISO) en diversas normas que establecen los procedimientos y consideraciones que se deben tener en cuenta para realizar la investigación de manera adecuada.

En primer lugar, la norma ISO 14040: “Gestión Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida – Principios y marco de referencia” establece como se debe estructurar un estudio de esta naturaleza; se establecen los principios en los que se basa un ACV y las fases que lo componen. Dichas fases son la definición del objetivo y el alcance del estudio, el análisis y estructuración del inventario, el análisis del impacto, y la fase de interpretación del estudio (Organización Internacional de la Normalización [ISO], 2006).

Luego, la norma ISO 14044: “Gestión Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida – Requisitos y directrices” fija los requisitos y directrices para la buena ejecución de un estudio de esta naturaleza; estandariza los procedimientos del mismo, y determina las limitaciones que pueda encontrar la investigación. Además, determina el marco metodológico en cada una de las etapas del estudio y establece condiciones sobre cómo reportar los resultados de la investigación (ISO, 2006).

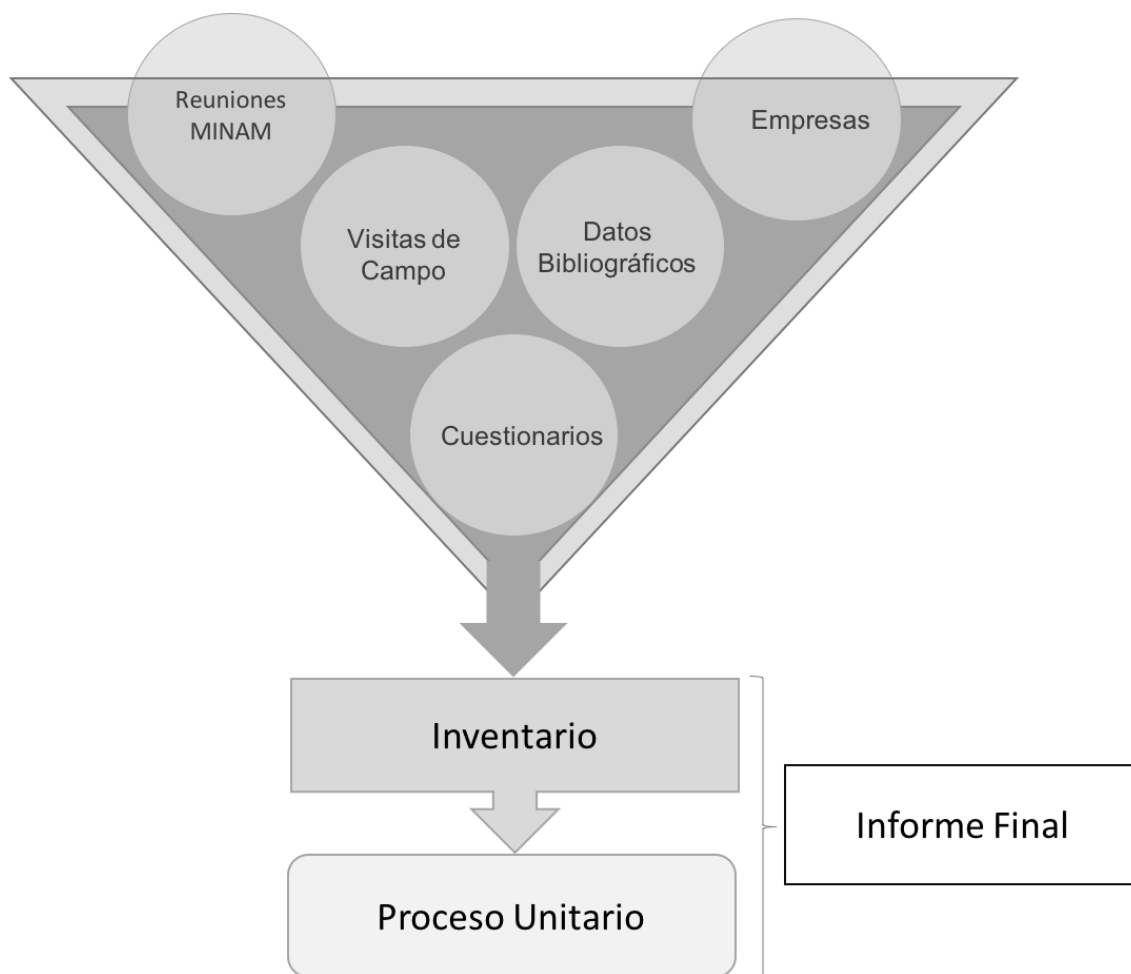
Por último, la norma ISO 14048: “Gestión Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida – Formatos para documentación de datos” proporciona el formato sobre la documentación de la data de un ACV. Esta norma especifica y diferencia la configuración de la información para cada uno de los procesos, y explica cómo debe realizarse la modelación y validación de los resultados. Asimismo, determina la nomenclatura a emplear y proporciona ejemplos de la correcta aplicación de los formatos de documentación (ISO, 2002).

Para el correcto desarrollo de un estudio de ACV, en este caso la creación de Inventarios de Ciclo de Vida (ICV) para los respectivos sectores primarios del país, se debe obtener información de fuentes primarias y secundarias. Dicha información incluye datos sobre la obtención de las materias primas empleadas a lo largo del proceso a analizar, sobre los procesos constructivos o de producción de los elementos, el transporte de los elementos involucrados, y los demás procesos y sub procesos relacionados al sistema a analizar. La precisión y detalle de los datos con respecto a la realidad va a depender si dicha información fue obtenida de fuentes primarias, como empresas estudiadas o toma de muestras in situ, o secundarias, como bases de datos.

La información primaria, la cual se tiene como objetivo que sea el mayor porcentaje de la información a obtener, será proporcionada por las empresas y entidades participantes en el proyecto. Dichos datos serán adquiridos por medio de encuestas, cuestionarios y entrevistas estructuradas, visitas guiadas, toma de muestras y mediciones in situ. Una vez obtenida la información necesaria, esta será procesada y caracterizada en función de una unidad de referencia del producto a estudiar, como por ejemplo en función de 1 KWh de energía producida en el caso de una central hidroeléctrica, 1 tonelada de residuos sólidos desechados en el caso de un relleno sanitario, o 1 barril de crudo de petróleo a procesar en el caso de los productos de refinería.

Dado que todo el acceso a la información es limitado, ya que los procesos a analizar son muy extensos y exceden en muchos casos a las mismas empresas o entidades involucradas en los proyectos, se emplean fuentes secundarias. Estas fuentes secundarias incluyen bases de datos realizadas por grupos investigativos internacionales, como Ecoinvent (Ecoinvent, s.f.), bibliografía disponible o estudios previos con los que la entidad investigadora cuente. En el caso de la información secundaria, al igual que con la información primaria, se la debe caracterizar en función de una unidad de referencia del producto a analizar.

El proceso de procesamiento, validación y publicación de la información se puede ver de manera esquematizada en la **Imagen N°01** a continuación:



**Imagen N°01:** Esquema del procesamiento, validación y publicación de la información.

Asimismo, cabe indicar que este protocolo de procesado, validado y publicación de la información se ajustará a las guías publicadas por la Iniciativa de Ciclo de Vida (LCI por sus siglas en inglés) de ONU Medioambiente (LCI, 2011). En dicha guía se explican una serie de procedimientos, tales como el desarrollo de procesos unitarios, así como las guías para gestionar, administrar dichos procesos. Por último, detalla cómo se debería proceder a la hora de referenciar la información obtenida para producir los procesos unitarios.



## **Parte B. Reporte sobre el Marco Normativo y Legislativo de los Sectores Primarios del Perú**

Actualmente el Perú es un país muy extenso y diverso en muchos ámbitos, por lo que cuenta con gran cantidad y variedad de recursos. Dicha disponibilidad de recursos facilita el crecimiento del país, el cual está en etapa de desarrollo, pero a la vez permite que muchos de estos sean sobreexplotados o manejados de manera inadecuada. Estas preocupaciones han despertado interés tanto a nivel nacional como internacional, y se han venido forjando medidas para contrarrestar las carencias en cada uno de los principales sectores, tanto de producción como de disposición.

A nivel nacional, las medidas adoptadas preceden a la creación del Ministerio del Ambiente (MINAM), el cual fue creado en 2008, y es actualmente la principal institución gubernamental que incentiva el uso sostenible de los recursos naturales y su medio. A nivel internacional, las medidas datan desde la creación del Proyecto de las Naciones Unidas por el Medio Ambiente (PNUMA), en 1972, y las Conferencias de las Partes (COP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas por el Cambio Climático (CMNUCC), desde 1995, encontrando principal éxito en la COP 21, en 2015, debido a la firma del Tratado de París, el primer tratado internacional vinculante sobre medidas de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI).

A continuación se hará un recuento de los sectores prioritarios identificados, que son el Sector Centrales Hidroeléctricas, el Sector Rellenos Sanitarios, y el Sector Refinerías, así como su respectivo marco normativo:

## **CENTRALES HIDROELÉCTRICAS**

El Perú se encuentra en etapa de crecimiento, y la producción del sector eléctrico acompaña directamente al desarrollo del país. Para el año 2016, los últimos avances estadísticos del subsector eléctrico desarrollado por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), indican que la electricidad generada (GWh), se distribuyó principalmente en 4 tipos de generación de energía eléctrica: Energía térmica – 51%, Hidroeléctrica – 48%, y la eólica y solar generan el 1% que resta. Estos resultados en comparación a los obtenidos en el año 2015, indican que hay una tendencia en aumento en la producción de energía eléctrica a partir del uso de recursos renovables como el agua, el sol y el viento (MINEM, 2016), cambiando ligeramente una tendencia alcista de la energía térmica en años anteriores. Asimismo, la producción eléctrica por región está marcada por la generación de las dos principales fuentes de energía, térmica e hidráulica. Por parte de la primera, la mayor generación se encuentra en: Lima, Moquegua y Callao en orden de producción; y con respecto a la energía hidráulica: Huancavelica, Lima y Junín (MINEM, 2015).

La generación de energía hidráulica se produce a partir de la construcción de centrales hidroeléctricas (CCHH). Estas producen energía eléctrica a partir de la energía potencial que genera el agua del cauce de un río al tener un desnivel de altura (MINEM, 2015). En el año 2015, el Perú contó con 186 CCHH a nivel nacional y el crecimiento del uso de esta fuente de energía eléctrica ha ido en aumento en el último año (MINEM, 2016). Las principales CCHH de acuerdo a su potencia instalada son: Complejo Hidroeléctrico Mantaro (Huancavelica) dividido entre la Central Hidroeléctrica (CH) Antúnez de Mayolo y Restitución – 1010MW (Electroperú, 2016); CH Cerro del Águila (Huancavelica) - 525 MW y CH Chaglla (Huánuco) - 406 MW (Osinergmin, 2016).

### **Perú y su ingreso en la aplicación de políticas de mitigación.**

Asimismo, dentro de los principales objetivos a cumplir por parte del Estado peruano, se encuentra la mejora en el acceso a energía eléctrica en áreas rurales, explotar el potencial eléctrico generado por energías renovables y finalmente, la reducción del impacto ambiental producido por el sector eléctrico. Este último objetivo está en relación a que el Perú, hoy en día, forma parte de la CMNUCC, con el fin de implementar/ fortalecer sus políticas ambientales, a partir de tratados internacionales como el último firmado en París en la COP 21. En este último tratado, el Perú se

compromete a partir de la propuesta de mitigación de las *intended Nationally Determined Contributions* (iNDC) a reducir en un 30% las emisiones de GEI proyectadas para el año 2030 (iNDC, 2015); estimándose una reducción del 12% en este sector. En la **Tabla N°01** se puede ver las opciones de mitigación consideradas por el MINAM para la reducción del impacto climático en el sector energético, se tomó en consideración solo las opciones de mitigación enfocadas en el uso de energías renovables y la distribución eléctrica.

**Tabla N°01:** Iniciativas de la Contribución Nacional Determinada en el sector energético.

| Nombre de Iniciativa                       | Mitigación en toneladas de CO <sub>2</sub> -equivalente |
|--|---|
| Combinación de Energías Renovables         | 2.101.000   |
| Generación Distribuida con Paneles Solares | 41.000  |
| Electrificación Rural con Paneles Solares  | 46.000  |
| Reducción de Pérdidas en el SEIN           | 886.000   |

Fuente: Adaptación de La Contribución Nacional del Perú – iNDC: agenda para un desarrollo climáticamente responsable

### Marco Legislativo

En lo que respecta al marco legislativo, dado los impactos ambientales producidos en la generación de energía eléctrica, el Estado peruano posee normas y políticas en vigencia de protección ambiental para el sector electricidad, las cuales se mencionan a continuación:

- **Decreto Supremo N° 29-94-EM:** El día 06 de Julio de 1997 se aprobó el Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas, en el cual se establecen las normas que regulan las actividades relacionadas con la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica en el Perú. Dentro de las estipulaciones que se propone se encuentran:

- Obligaciones de los titulares de concesiones y autorizaciones.
- Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

- Programa de adecuación y manejo ambiental.
- Calidad Ambiental.
- Proceso de fiscalización y sanción.

Con respecto al primer objetivo, este se concentra en la responsabilidad del control y protección del medio ambiente por parte de los Titulares de las Concesiones y Autorizaciones del control, generación, transmisión y distribución eléctrica. Por otro lado, en lo que respecta al EIA, este se enfoca en la realización y entrega de un EIA por parte de una de las instituciones autorizadas por el Ministerio. Además, por parte de la adecuación y manejo ambiental, se deberá cumplir con el objetivo de lograr una reducción en los niveles de contaminación ambiental en las actividades eléctricas, hasta alcanzar los Límites Máximos Permisibles (LMP) (El Peruano, 1997).

De manera complementaria, en el decreto se estipula una normativa que deberán de cumplir aquellos solicitantes de Concesiones y Autorizaciones en lo referido al control de la calidad ambiental. En esta tendrán que considerar todos los efectos potenciales de sus Proyectos Eléctricos sobre la calidad del aire, agua, suelo y recursos naturales. El diseño, la construcción, operación y abandono de los Proyectos Eléctricos deberán ejecutarse de forma tal que el impacto dañino al medio ambiente sea mínimo. Por último, en este decreto se expresa el proceso de fiscalización y sanción de los Proyectos Eléctricos que no cumplan con los aspectos ambientales mencionados anteriormente (El Peruano, 1997).

**- Decreto Supremo N°064-2010- EM:** El día 24 de Noviembre del 2010 se establece la aprobación de la política energética nacional del Perú, entre los años 2010 y 2040. Este decreto se basó en la implementación de las nuevas políticas en el sector energético con el fin de satisfacer la demanda nacional de forma confiable, regular, continua y eficiente, los objetivos de esta política en relación a la construcción e implementación de la energía hidráulica son los siguientes (El Peruano, 2010):

- Contar con una matriz energética diversificada, con énfasis en las fuentes renovables y la eficiencia energética.
- Desarrollar un sector con mínimo impacto ambiental y bajas emisiones de carbono en un marco de Desarrollo Sostenible.

Con respecto al primer objetivo, este se enfoca en promover proyectos e inversiones para lograr una matriz energética diversificada y en base a energías renovables – convencionales y no convencionales, que garanticen la estabilidad y seguridad energética del país. Además, este objetivo prioriza la construcción de CCHH eficientes como base para la generación eléctrica nacional (MINAM, 2010). Por otro lado, el segundo objetivo enfocado en las energías renovables hidráulicas, prioriza impulsar el desarrollo y uso de energías limpias y de tecnologías con bajas emisiones contaminantes y que eviten la biodegradación de los recursos, establecer medidas para la mitigación de emisiones provenientes de las actividades energéticas y promover los proyectos energéticos que obtengan beneficios de la venta de los certificados de reducción de emisiones (CERs) para el mercado de carbono (MINAM, 2010).

- **Decreto Supremo N° 012-2011-EM:** El día 23 de marzo del 2011, se aprobó el nuevo reglamento de la generación de electricidad con energías renovables. En este Decreto, se estipulan 07 títulos y 26 artículos, en donde se proponen las condiciones generales para participar en los procesos de licitación de proyectos y concesiones de Recursos Energéticos Renovables (RER). Entre estas condiciones se encuentra la composición de energía requerida, cumplir con los requisitos por parte del postor, las bases de la licitación, el plan nacional de energías renovables, entre otras condiciones (El Peruano, 2011).

- **Resolución directoral N° 046-2010-EM/DGE:** El día 03 de Octubre del 2010, se aprueban el contenido mínimo de estudio de factibilidad aplicable a los derechos eléctricos previstos en la ley de concesiones eléctricas y su reglamento. En esta resolución se menciona acerca de lo que exige la ley de concesiones para obtener una licitación de un proyecto eléctrico como: La realización de estudios en el marco de una concesión temporal a partir de buenos niveles de factibilidad; contar con los estudios del proyecto a nivel de factibilidad, entre otros contenidos para cumplir con el mínimo de factibilidad del proyecto, para entrar a un proceso de licitación (El Peruano, 2010).

## RELLENOS SANITARIOS

A lo largo de los años, en el Perú se han ido implementando progresivamente diversas medidas de gestión ambiental, y el Sector Residuos Sólidos (SRRSS) no es ajeno a ello. Debido a la implicancia directa en la calidad ambiental, y consecuentemente en la calidad de vida de las personas, el SRRSS ha sido una de las prioridades del MINAM, tanto es así que en el año 2010 se comprometió, en el Acuerdo de Copenhague, a diseñar e implementar medidas que permitan disminuir las emisiones provenientes del mal manejo de los residuos sólidos (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [CMNUCC], 2010). Posteriormente, luego de la firma del Tratado de París, en 2015, el Perú ha reafirmado su compromiso con el medio ambiente y la mitigación de GEI.

En el año 2012, se estimó que el SRRSS peruano emitió 6.005.250 toneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente, lo que representa el 3,6 % de las emisiones totales a nivel nacional (MINAM, 2015). La propuesta de la Contribución Nacional Determinada (iNDC) y las Medidas de Mitigación Propuestas (NAMAs) por parte del Perú ante el acuerdo de París, establecen una reducción estimada del 30% respecto a las emisiones de GEI proyectadas para el año 2030 en un escenario *Business as Usual* (BaU), lo que sería aproximadamente 3.903.000 toneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente mitigadas en el SRRSS (MINAM, 2016). En la **Tabla N°02** se puede ver cada iniciativa de la iNDC y sus mitigaciones respectivas. Por otra parte, para el año 2013, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) determinó que solo el 32,2% de municipalidades hacía uso parcial o total de rellenos sanitarios, factor que pone en evidencia las carencias actuales del sector (INEI, 2014).

**Tabla N°02:** Iniciativas de la Contribución Nacional Determinada en el sector Residuos Sólidos.

| Nombre de Iniciativa   | Mitigación en T CO <sub>2</sub> -equivalente |
|--|--|
| Captura y Quema de Metano en Rellenos Sanitarios (NAMA <sup>1</sup> )                    | 1.506.000                                    |
| Captura y Quema de Metano en Otros Rellenos Sanitarios                                   | 289.000                                      |
| Tecnología Semiaeróbica en Rellenos Sanitarios (Proyecto BID/JICA)                       | 442.000                                      |
| Compostaje en Rellenos Sanitarios (Proyecto BID/JICA)                                    | 217.000                                      |
| Reciclaje en Rellenos Sanitarios (Proyecto BID/JICA)                                     | 21.000                                       |
| Quema Metano en PTARs <sup>2</sup>   | 67.000                                       |
| Tratamiento de lodos en PTARs  | 9.000  |
| Generación eléctrica PTARs   | 5.000  |
| Construcción de rellenos sanitarios con captura y quema de metano y generación eléctrica | 1.347.000                                    |

Fuente: Adaptación de La Contribución Nacional del Perú – iNDC: agenda para un desarrollo climáticamente responsable.

### Marco Legislativo

Dada la significancia de las emisiones en el sector, y teniendo en cuenta la situación actual y el déficit del mismo, se hará a continuación un recuento de las principales medidas, normas y políticas vigentes en cuando al manejo de residuos sólidos:

- El 21 de julio de 2000 se publicó la **Ley General de Residuos Sólidos (LGRRSS)** aprobada mediante la Ley No. 27314, y su reglamento, el Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos (RLGRRSS), aprobado mediante el Decreto Supremo No. 057-2004-PCM publicado el 24 de julio de 2004, los cuales regulan el manejo de residuos sólidos, de modo que se gestionen de manera sanitaria y ambientalmente apropiada (MINAM, 2013). Además, establecen que la administración de residuos sólidos debe incluir los procesos de minimización de residuos, segregación en la fuente, reaprovechamiento, almacenamiento, recolección, comercialización, transporte, tratamiento, transferencia y disposición final.

<sup>1</sup> NAMAs: Medidas de Mitigación Propuestas, por sus siglas en inglés.

<sup>2</sup> PTARs: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

El artículo 77 del RLGRSS hace hincapié en el reaprovechamiento de los residuos, a modo de reciclaje, recuperación o reutilización. Además, el artículo 79 insta a que el manejo de los residuos sólidos se haga mediante la biodegradación, a través de instalaciones de tratamiento centralizadas, las cuales cuenten con los procesos de segregación, compactación y biodegradación, compostaje, procesamiento térmico u otras técnicas de tratamiento que cumplan las normas establecidas (MINAM, 2013). Asimismo, se establece que los desechos del ámbito municipal se disponen en rellenos sanitarios, y los residuos no municipales en rellenos de seguridad.

Por otro lado, se determina que los rellenos sanitarios se clasifican en 3 tipos: rellenos sanitarios manuales, los cuales manipulan como máximo 20 toneladas diarias; rellenos sanitarios semi-mecanizados, que operan hasta 50 toneladas de desechos diarios, y los rellenos sanitarios mecanizados, que manejan más de 50 toneladas diarias. También se establece que entre las instalaciones mínimas en un relleno sanitario, se deben encontrar drenes y chimeneas de control de gases, así como sistemas de vigilancia y monitoreo de lixiviados (MINAM, 2013).

Adicionalmente es necesario mencionar que el 23 de diciembre de 2016, se promulgó la nueva **Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos**, mediante el decreto legislativo No. 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, dicha ley expresa que la LGRRSS quedará derogada una vez se publique el Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, el cual será publicado en un plazo no mayor a 180 días calendario contando un día después de la publicación de la mencionada ley (El Peruano, 2016).

- La **Ley que Regula la Actividad de los Recicladores** fue aprobada por medio de la Ley No. 29419, el 7 de octubre de 2009, y el Reglamento de la Ley que Regula la Actividad de los Recicladores el 3 de junio de 2010, a través del Decreto Supremo No. 005-2010-MINAM. Ambos establecen el escenario normativo para la regulación de los haberes 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: producción, 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).

- Por último, 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. 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 tratamiento de residuos sólidos.

El Plan contempla los principales ejes políticos y técnicos establecidos en la legislación peruana y sigue el camino establecido en el año 2000 con la LGRRSS. 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).

## PRODUCTOS DE REFINERÍA

A lo largo de los últimos años, el Perú ha experimentado un constante crecimiento económico, el cual va de la mano con un crecimiento en el parque automotor del país debido a que los ciudadanos tienen un mayor poder adquisitivo y la capacidad de adquirir nuevos vehículos. Este incremento en el parque automotriz del país tiene grandes repercusiones en el impacto ambiental generado por las emisiones de GEI de los vehículos. Esta temática es una prioridad en el país, ya que tal como se explica en las NAMAs para transporte, dicho sector contribuye con un total de 14.900.000 t CO<sub>2</sub>eq lo cual lo convierte en el mayor emisor de CO<sub>2</sub> proveniente del uso de energía en el Perú con una contribución de 38% del total. Asimismo, la propuesta de la iNDC para el sector transporte considera que se puede lograr un potencial de mitigación de 4% para el sector transporte al año 2030 de acuerdo a la línea base BaU.

Debido a la problemática ambiental, desde ya hace algunos años se está tratando de regular la actividad de extracción de hidrocarburos y refinamiento de los mismos para la producción de combustibles.

### Marco Legislativo

En un inicio, la Constitución de 1993 establece que las actividades del subsector hidrocarburos son reguladas mediante la Ley Orgánica de Hidrocarburos, **Ley N° 26221**. Esta ley establece que los hidrocarburos in situ son propiedad del Estado (artículo 8). El Estado otorga a PERUPETRO S.A. el derecho de propiedad sobre los hidrocarburos extraídos mediante contratos de exploración y explotación. De acuerdo con el Artículo 10 de esta ley, los contratos pueden ser:

- a. *Contrato de licencia. Es el celebrado por PERUPETRO S.A. con el contratista y por el cual este obtiene la autorización de explorar o explotar hidrocarburos en el área de contrato, en mérito del cual PERUPETRO S.A. transfiere el derecho de propiedad de los hidrocarburos extraídos al contratista, quien debe pagar una regalía al Estado.*
- b. *Contrato de servicios. Es el celebrado por PERUPETRO S.A. con el contratista para que este ejerce el derecho de llevar a cabo actividades de exploración o explotación de hidrocarburos en el área de contrato, recibiendo el contratista una retribución en función de la producción fiscalizada de hidrocarburos.*

*c. Otras modalidades de contratación autorizadas por el MINEM.*

El **Decreto Legislativo N° 757** establece que cada sector elabore sus normas, que se haga cargo de la gestión ambiental de su sector y que, además, en caso sus actividades representen peligro grave o inminente para el ambiente, sea la autoridad sectorial competente la que disponga la adopción de medidas de seguridad. Esta norma establece también que en caso que el desarrollo de la actividad fuera capaz de causar un daño irreversible con peligro grave para el medio ambiente, la vida o la salud de la población, la autoridad sectorial competente tiene la potestad de suspender los permisos, licencias o autorizaciones que hubiera otorgado para el efecto. Por otro lado, el artículo 2 de la **Ley N° 26786**, que modifica el **Decreto Legislativo N° 757**, involucra no solamente al ente rector, sino que también incluye la participación del Consejo Nacional del Ambiente (CONAM)

Sobre la afectación al medio ambiente, la vida o la salud de la población, existen aspectos que se rigen por normas específicas más recientes, tales como la Ley General del Ambiente, la Ley de Áreas Naturales Protegidas, la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, entre otras, que no necesariamente se articulan entre sí, prestándose a que las autoridades sectoriales las puedan interpretar de distinta manera cada una. Esto se puede apreciar en el **Informe N° 009-2007-DP/ASPMA.CN** de la Adjuntía para los Servicios Públicos y el Medio Ambiente de la Defensoría del Pueblo, que señala en la página 6:

*La investigación ha revelado que al interior del Estado existen diversas interpretaciones de la regulación sobre protección ambiental, específicamente la Ley de Áreas Naturales Protegidas, **Ley N° 26834** y su Reglamento, aprobado por **Decreto Supremo N° 038-2001-AG**.*

La Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), **Ley N° 27446**, publicada el 23 de abril de 2012, crea el SEIA como un sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio de los proyectos de inversión. La creación del sistema busca, además, establecer criterios y procesos uniformes para todos los sectores respecto de los requisitos, procedimientos y alcances de las evaluaciones de impacto ambiental y de la participación ciudadana en la toma de decisiones referentes a los proyectos de inversión.

Sin embargo, como se estableció en 1991 con el Decreto Ley N° 757, cada sector continúa encargándose de definir su normativa y es la autoridad encargada de la gestión ambiental de las actividades a su cargo.

El 12 de noviembre de 2014 se publicó un nuevo Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos, aprobado por el MINEM mediante **Decreto Supremo N° 039-2014-EM**, que deroga el **Decreto Supremo N° 015-2006-EM**. Esto resulta contradictorio a los recientes esfuerzos realizados por el Estado para darle más independencia y credibilidad a la gestión ambiental. Con la creación del SENACE, por ejemplo, el Estado estaría buscando recuperar la confianza en los procesos de certificación ambiental, es decir, al otorgamiento de certificaciones ambientales y al desarrollo de estándares ambientales, que hasta el momento son competencia de las autoridades sectoriales que actúan de manera aislada y a menudo sin el sustento técnico ambiental necesario para la toma de decisiones.

A partir de 2013 el gobierno ha aprobado una serie de medidas, como el **D.S. N° 054-2013-PCM**, el **D.S. N° 060-2013-PCM**, la **Ley N° 30230** y la **Ley N° 30327**, con el objeto de agilizar las inversiones en el país y reducir los requerimientos y plazos para otorgar licencias ambientales para nuevos proyectos. Estos llamados “paquetazos ambientales” responden a las presiones de un modelo de desarrollo centrado en la extracción de recursos y a la posición que ha adoptado el Estado sobre las instituciones y estudios ambientales, considerándolos trabas u obstáculos para las inversiones y el crecimiento económico del país.

El Documento Disposiciones especiales para la ejecución de procedimientos administrativos, **D.S. N° 054-2013-PCM**. Publicado el 16 de mayo de 2013, este decreto debilita la protección del patrimonio arqueológico nacional modificando los fines, plazos, procedimientos y requisitos para obtener el Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos (CIRA); además, es el primer precedente que dispone la posibilidad de despojar de sus territorios a comunidades nativas y campesinas que no se encuentren reconocidas o tituladas (artículo 6).

Uno de los problemas más graves de esta norma es que se establece que para la modificación, ampliación o mejora tecnológica de un proyecto de inversión con certificación ambiental aprobada, solo sería necesario presentar un Informe Técnico Sustentatorio (ITS). El requisito del ITS parte del supuesto de que la modificación no

causaría impactos significativos. Sin embargo, la norma no establece qué se entiende por impactos ambientales no significativos, ni toma en cuenta que los posibles impactos acumulativos o sinérgicos relacionados con el cambio propuesto del proyecto podrían causar impactos significativos (artículo 4).

Las disposiciones especiales para la ejecución de procedimientos administrativos y otras medidas para impulsar proyectos de inversión pública y privada, **D.S. N° 060-2013-PCM**. Publicado el 25 de mayo de 2013, esta norma pone en riesgo la calidad de la EIA y la funcionalidad del SEIA, ya que tiene como objetivo agilizar los proyectos de inversión. Entre los puntos a tomar en cuenta, se debilita la capacidad institucional para revisar y aprobar las EIA (artículo 3), debido a que el plazo para aprobar las EIA del sector energía y minas se reduce a 103 días hábiles, lo que puede generar efectos negativos en el proceso y presión a las distintas instituciones del Estado y los funcionarios que participan. Además, se establecen sanciones administrativas al evaluador de no cumplir con los plazos establecidos, contribuyendo a la posibilidad de la reducción de estándares de calidad en la revisión del documento.

Asimismo, restringe la facultad de las autoridades para evaluar integralmente posibles impactos ambientales significativos (artículo 2), pues prohíbe a las autoridades ambientales efectuar requerimientos de información adicionales durante la revisión de las EIA y se otorga la facultad al MINEM de restringir las opiniones especializadas. Asimismo, se restringe la función proactiva de las autoridades públicas (SERNANP, ANA, MINCU, entre otras), obligándolas a que se pronuncien únicamente sobre temas de su competencia. Tampoco indica cómo se llevará a cabo el proceso de participación ciudadana para la revisión y aprobación de la EIA (artículo 3), especialmente frente a la reducción del plazo para su aprobación.

**Ley N° 30230** Ley que Establece Medidas Tributarias, Simplificación de Procedimientos y Permisos para la Promoción y Dinamización del País. Publicada el 12 de julio de 2014, esta ley establece un conjunto de facilidades tributarias tales como la extinción de la capitalización de intereses de las deudas tributarias, otorga estabilidad tributaria, entre otras medidas que buscan flexibilizar los requerimientos tributarios y de esta manera alentar la inversión.

Sin embargo, entre los aspectos más perjudiciales para la institucionalidad ambiental que establece la norma pueden mencionarse: (i) un período de tres años

durante los cuales el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) solo podrá imponer sanciones en casos excepcionales cuando las infracciones sean muy graves o reincidentes; (ii) un plazo de 45 días hábiles para emitir la opinión vinculante o no vinculante de las entidades públicas sobre las EIA, sin que pueda volver a solicitarse documentos una vez que la empresa haya subsanado o aclarado las observaciones formuladas por las entidades del Estado.

**Ley N° 30327** Ley de Inversiones para el Crecimiento Económico y Desarrollo Sostenible en Zonas de Exclusión Social. Publicada el 21 de mayo de 2015, tiene por objeto “promocionar las inversiones para el crecimiento económico y el desarrollo sostenible, estableciendo la simplificación e integración de permisos y procedimientos, así como medidas de promoción de la inversión”.

Como en el caso de la norma antes mencionada, esta ley establece cambios institucionales y normativos que responden a presiones económicas del sector empresarial y no a fortalecer la institucionalidad ambiental en aras de trabajar hacia el desarrollo sostenible del país. Esta norma tampoco establece criterios técnicos mínimos necesarios para la evaluación de las EIA ni pautas claras para el proceso de aprobación; por el contrario, evidencia la visión de ciertos sectores del Estado, quienes perciben la evaluación de impacto ambiental y otros instrumentos de gestión ambiental como “trámites” que perjudican el dinamismo económico.

Asimismo, en el mes de Agosto de 2005, Perú ratificó el convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes. En el artículo 7° de dicho convenio se estipulaba que se debía implementar un Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), que debe ser conducido por el MINAM al ser el administrador del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). Por medio de este registro diversas empresas con un número mayor a 100 trabajadores o ventas mayores a 1700 UIT deben reportar sus emisiones, algunos efluentes físico-químicos y biológicos y residuos peligrosos incluidos dentro del RETC.

El Decreto Supremo N° 042-2005-EM, en octubre de 2005, presenta la Ley Orgánica norma las actividades de Hidrocarburos en el territorio nacional. En su Artículo 2 se establece que el Estado promueve el desarrollo de las actividades de Hidrocarburos sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica con la

finalidad de lograr el bienestar de la persona humana y el desarrollo nacional. Sin embargo.

Decreto Supremo N° 039-2014-EM establece el Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos, el mismo que consta de doce Títulos, veintidós Capítulos, ciento once artículos, cuatro Disposiciones Complementarias Finales, cuatro Disposiciones Complementarias Transitorias y cuatro Anexos. En este documento se deroga el Decreto Supremo N° 015-2006-EM, que aprobó el Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos.

El nuevo Reglamento tiene por objetivo normar la protección y gestión ambiental de las Actividades de Hidrocarburos, con el fin primordial de prevenir, minimizar, rehabilitar, remediar y compensar los impactos ambientales negativos derivados de tales actividades, para propender al desarrollo sostenible, de conformidad con el ordenamiento normativo ambiental establecido en la Constitución Política, la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente; la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental; la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental modificada por el Decreto Legislativo N° 1078 y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM; Texto Único Ordenado de la Ley Orgánica de Hidrocarburos, aprobado mediante Decreto Supremo N° 042-2005-EM y las demás disposiciones legales pertinentes; así como sus modificatorias o sustitutorias.

### **Normatividad legal para emisiones**

- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA) - **D.S. N° 002-2008-MINAM.**
- Disposiciones para la implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua – **D.S. N° 023-2009-MINAM.**
- Límites Máximos permisibles para efluentes líquidos en subsector Hidrocarburos - **N° 037-2008-PCM.**
- Ley general de Residuos Sólidos – **Ley N° 27314.**
- Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos **D.S. N° 057-2004-PCM.**

- Límites Máximos Permisibles para las Emisiones Gaseosas y de Partículas de las Actividades del Sub Sector Hidrocarburos – **D.S. N°062-2010-EM.**
- Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) del aire – **D.S. N° 074-2001-PCM.**
- Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para ruido – **D.S. N° 085-2003-PCM.**



## Referencias:

Aprueban la política energética nacional del Perú 2010 – 2040. Decreto Supremo N° 064 – 2010- EM. (24 de noviembre de 2010). Diario Oficial el Peruano. Recuperado de: [http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-064-2010-EM-](http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-064-2010-EM-CONCORDADO.pdf)

[CONCORDADO.pdf](http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-064-2010-EM-CONCORDADO.pdf)

Banco BBVA Continental (2010). *Perú Situación Automotriz*. Disponible en: [https://www.bbvaresearch.com/KETD/fbin/mult/peru\\_automotriz\\_2010\\_tcm346-274709.pdf](https://www.bbvaresearch.com/KETD/fbin/mult/peru_automotriz_2010_tcm346-274709.pdf)

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (2010). *Acuerdo de Copenhague – Apéndice II - Acciones de mitigación apropiadas a nivel nacional de las Partes que son países en desarrollo*. Disponible en: [http://unfccc.int/meetings/cop\\_15/copenhagen\\_accord/items/5265.php](http://unfccc.int/meetings/cop_15/copenhagen_accord/items/5265.php)

Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ) (2015). *Medidas de Mitigación Propuestas de Transporte Urbano Sostenible*. Disponible en: [http://transport-namas.org/wp-content/uploads/2014/04/TRANSPeru NAMA de Transporte Urbano Sostenible-del\\_Peru.pdf](http://transport-namas.org/wp-content/uploads/2014/04/TRANSPeru NAMA de Transporte Urbano Sostenible-del_Peru.pdf)

Decreto Legislativo N° 1278. (23 de diciembre de 2016). Diario Oficial el Peruano. Recuperado de: <http://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-legislativo-que-aprueba-ley-gestion-integral-residuos-solidos>

Decreto Supremo N° 012 – 2011 – EM. (23 de marzo de 2011). Diario Oficial el Peruano. Recuperado de: <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-012-2011-EM-CONCORDADO.pdf>

Decreto Supremo N° 29 – 94 – EM. (6 de julio de 1997). Diario Oficial el Peruano. Recuperado de: <http://www.elor.com.pe/portal/wp-content/uploads/2014/04/ds29-94-em.pdf>

Electroperú (2016). *Complejo Hidroeléctrico del Mantaro*. Disponible en: <http://www.electroperu.com.pe/ElectroWebPublica/PaginaExterna.aspx?id=9&modo=submenu&idioma=ESPAÑOL>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2014). *Anuario de Estadísticas Ambientales – Capítulo 5: Residuos Sólidos*. Disponible en: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1197/index.html](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1197/index.html)

International Organization for Standardization (ISO) 14040:2006, *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*.

International Organization for Standardization (ISO) 14044:2006, *Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*.

International Organization for Standardization (ISO) 14048:2002, *Environmental management — Life cycle assessment — Data documentation format*.

LCI (2011). Life Cycle Initiative. Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases. A basis for greener processes and products. 'Shonan Guidance Principles'. ONU Medioambiente.

Ministerio de Ambiente (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>

Ministerio de Ambiente (MINAM) (2012). *Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*. Disponible en:

<http://raee-peru.pe/pdf/reglamento.pdf>

Ministerio de Ambiente (MINAM) (2013). *Informe: Diagnóstico de los Residuos Sólidos en el Perú*. Disponible en: [https://www.nefco.org/sites/nefco.org/files/pdf-](https://www.nefco.org/sites/nefco.org/files/pdf-files/1_diagnostico_de_los_residuos_solidos_en_el_peru.pdf)

[files/1 diagnostico de los residuos solidos en el peru.pdf](https://www.nefco.org/sites/nefco.org/files/pdf-files/1_diagnostico_de_los_residuos_solidos_en_el_peru.pdf)

Ministerio del Ambiente (MINAM) (2015). *Generación de Energía Eléctrica*. Disponible en:

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Capitulo%203%20Generacion%20electrica%202015%20FINAL.pdf>

Ministerio de Ambiente (2015). *La Contribución Nacional del Perú – iNDC: agenda para un desarrollo climáticamente responsable*. Disponible en:

<http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/11/2015/12/LA-CONTRIBUCI%C3%93N-NACIONAL-DEL-PER%C3%9A1.pdf>

Ministerio de Ambiente (2016). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016 – 2024*. Disponible en: <http://hera.pcm.gob.pe/ecoeficiencia/wp->

[content/uploads/2016/09/Plan\\_Nacional\\_Gestion\\_Integral\\_Residuos\\_Solidos\\_2016\\_2024.pdf](#)

Ministerio de Energía y Minas (MINEM) (2016). *Avance Estadístico del Subsector Eléctrico*. Disponible en:

[http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Estadistica%20Preliminar%20del%20Subsector%20Electrico%20-%20Noviembre\\_Rev\\_3.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Estadistica%20Preliminar%20del%20Subsector%20Electrico%20-%20Noviembre_Rev_3.pdf)

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) (2017). *Disposiciones de Monitoreo Emitidas*. Disponible en: <http://www.oefa.gob.pe/transparencia/datos-generales/disposiciones-emitidas?node=284>

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) (2016). *Central Hidroeléctrica Cerro del Águila*. Disponible en:

[http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/5.1.4.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/5.1.4.pdf)

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) (2016). *Central Hidroeléctrica Chaglla*. Disponible en:

[http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/5.1.1.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/5.1.1.pdf)

Resolución directoral N° 046-2010-EM/DGE. (03 de octubre de 2010). Diario Oficial el Peruano. Recuperado de:

[http://www.gacetajuridica.com.pe/servicios/normaspdf\\_2010/Setiembre/03-09-2010.pdf](http://www.gacetajuridica.com.pe/servicios/normaspdf_2010/Setiembre/03-09-2010.pdf)

Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) (2017). *Normativa Ambiental*. Disponible en: <http://sinia.minam.gob.pe/normas/buscar>

## Anexo B

## Cálculo de factores en el Índice de Complejidad de Nelson

$$Factor_i = \frac{\text{Costo implementar unidad}_i}{\text{Costo implementar unidad de destilación primaria}}$$

Donde:

$i$  = Tipo de proceso (ver tabla 12)

Para poder calcular el índice de complejidad de Nelson de una refinería, se debe utilizar la siguiente ecuación (Kaiser, 2017; Granados-Hernández et al, 2015):

$$ICN = \sum_{i=1}^n factor_i * \frac{Cp_i}{Cpda}$$

Donde

$ICN$  = Índice de complejidad de Nelson

$i$  = Tipo de proceso

$factor_i$  = Factor de complejidad del proceso  $i$

$Cp_i$  = Capacidad de procesamiento del proceso  $i$

$Cda$  = Capacidad de destilación atmosférica

Con el fin de desarrollar un análisis cualitativo de las refinerías en el país, se procedió a cuantificar el índice de complejidad de Nelson para las refinerías de Talara, Pampilla, Conchán e Iquitos. En la Tabla 12 se muestran las unidades que tienen cada una de las refinerías, así como el factor de complejidad para cada tipo de unidad.

**Tabla 12.** Unidades para el cálculo del índice de complejidad de Nelson y clasificación de las refinerías peruanas. Elaboración propia.

| <b>Unidad</b>                     | <b>Factor</b> | <b>La Pampilla</b> | <b>Talara</b> | <b>Conchán</b> | <b>Iquitos</b> |
|-----------------------------------|---------------|--------------------|---------------|----------------|----------------|
| Destilación primaria              | 1             | x                  | x             | x              | x              |
| Destilación al vacío              | 2             | x                  | x             | x              | -              |
| Termocraqueo, visbreaking         | 2.75          | x                  | -             | -              | -              |
| Coquización retardada             | 6             | -                  | -             | -              | -              |
| Craqueo catalítico                | 6             | x                  | x             | -              | -              |
| Reformado catalítico              | 5             | x                  | -             | -              | -              |
| Hidrocraqueo catalítico           | 6             | -                  | -             | -              | -              |
| Hidrorefinado catalítico          | 3             | -                  | -             | -              | -              |
| Hidrotratamiento catalítico       | 2             | -                  | -             | -              | -              |
| Alquilación                       | 10            | -                  | -             | -              | -              |
| Polimerización                    | 10            | -                  | -             | -              | -              |
| Planta de aromáticos              | 15            | -                  | -             | -              | -              |
| Isomerizado                       | 15            | -                  | -             | -              | -              |
| Planta de lubricantes             | 10            | -                  | -             | -              | -              |
| Planta de mejora por oxidación    | 10            | x                  | -             | -              | -              |
| Planta de hidrógeno               | 1             | x                  | -             | -              | -              |
| Planta de asfalto                 | 1.5           | -                  | -             | -              | -              |
| Índice de complejidad de Nelson   | -             | 4,81               | 3,58          | 1,77           | 1              |
| Nivel de complejidad <sup>a</sup> | -             | Semicompleja       | Simple        | Simple         | Simple         |

<sup>a</sup> Las refinerías con una clasificación menor a 3,9 son consideradas como simples. Aquellas que cuentan con una puntuación entre 3,9 y 6,1 son consideradas semicomplejas. Las ubicadas entre el rango de 6,1 y 8,4 se consideran complejas y, por último, si su índice es mayor a 8,4, son consideradas muy complejas (European Commission, 2015).

## **Referencias**

Granados, E., Bravo, H., Sosa, R., López, X., García, C., & Sánchez, P. (2015). Consumo de energía y emisiones de bióxido de carbono del sector refinación de petróleo en México de 2015-2030. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 503-513.

Kaiser, M. (2017). A review of refinery complexity applications. *Petroleum Science*, 14, 167-194.