



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ESTUDIO SOBRE EL ACCESO UNIVERSAL
A ELECTRICIDAD Y AGUA POTABLE
EN LA AMAZONÍA**

Autor: Raquel de la Orden López
Directora: María del Mar Cledera Castro
Director: Andrés González García

Madrid
Junio 2017

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Raquel de la Orden López

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: **ESTUDIO SOBRE EL ACCESO UNIVERSAL A ELECTRICIDAD Y AGUA POTABLE EN LA AMAZONÍA** que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL persistente).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

- intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusive del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a15.... deJunio..... de 2017.

ACEPTA



Fdo....Raquel.de la.Orden.López.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

--

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
.....ESTUDIO SOBRE EL ACCESO UNIVERSAL A ELECTRICIDAD Y AGUA POTABLE.....
.....EN LA AMAZONÍA.....

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso
académico2016/2017... es de mi autoría, original e inédito y no ha sido
presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni
total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos
está debidamente referenciada.



Fdo.: Raquel de la Orden López

Fecha: ..15./.06./.2017

Autorizada la entrega del proyecto

Los Directores del Proyecto



Fdo.: María del Mar Cledera Castro

Fecha: ..15./.06./.2017



Fdo.: Andrés González García

Fecha: ..15./.06./.2017

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Fdo.: José Ignacio Linares Hurtado

Fecha:/...../.....

ESTUDIO SOBRE EL ACCESO UNIVERSAL A ELECTRICIDAD Y AGUA POTABLE EN LA AMAZONIA

Autor: Orden López, Raquel de la.

Directora: Cledera Castro, María del Mar.

Director: González García, Andrés.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO:

El objetivo de este proyecto es mejorar la situación actual de acceso a electricidad (ODS-7¹) y agua potable (ODS-6) para varias poblaciones rurales aisladas situadas en la ribera del río Napo, distrito de Loreto, Perú.



Figura 1: Localización del río Napo en Perú

En el *Capítulo 2 - Estado del Arte* se puede encontrar un resumen del contexto actual en la región amazónica. Aquí se explica tanto la problemática de su delimitación geográfica, como su gran abundancia de recursos naturales (hídricos, forestales y ecosistémicos) o la riqueza cultural de sus poblaciones indígenas, así como el grave impacto humano en la zona debido a la deforestación, las presas hidroeléctricas, la minería, y las extracciones de gas y petróleo. Por último, se presenta un marco conceptual de la sostenibilidad, que se empleará como guía más adelante para evaluar el proyecto en sus tres esferas: económica, natural y social.



Figura 2: Mapa con los límites de la Amazonia según la cuenca del río Amazonas (National Geographic, 2015)

¹ <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

En el **Capítulo 3 – Región de Estudio**, se hace un breve recorrido por la historia de Perú, desde el Perú prehispánico, pasando por los Incas, hasta la Constitución de 1980 y el fin del régimen militar de Velasco Alvarado. Se incluye también una presentación de la organización geográfica y administrativa del país (con sus 179 provincias y 1.765 distritos), y un análisis socio-económico tanto del país en su conjunto, como del departamento de Loreto, y la provincia de Maynas, donde está situada la región de estudio del proyecto. Finalmente, se presenta el mapa² creado en Google Maps con las coordenadas y la población de todas poblaciones ribereñas identificadas en el río Napo, de donde se obtuvo la información de la región de estudio.



Figura 3: Vista en detalle de los poblados aislados beneficiados por el proyecto

En el **Capítulo 4 – Acceso a Agua Potable**, se analiza la situación actual de acceso a agua potable en la región, en base a datos del Banco Inter-American de Desarrollo (BID)³, así como la calidad del agua superficial en el río Napo, según datos de un monitoreo llevado a cabo por la Autoridad Nacional del Agua⁴ de Perú. Finalmente, se dimensiona una ETAP para proporcionar agua potable a los poblados de la región de estudio.

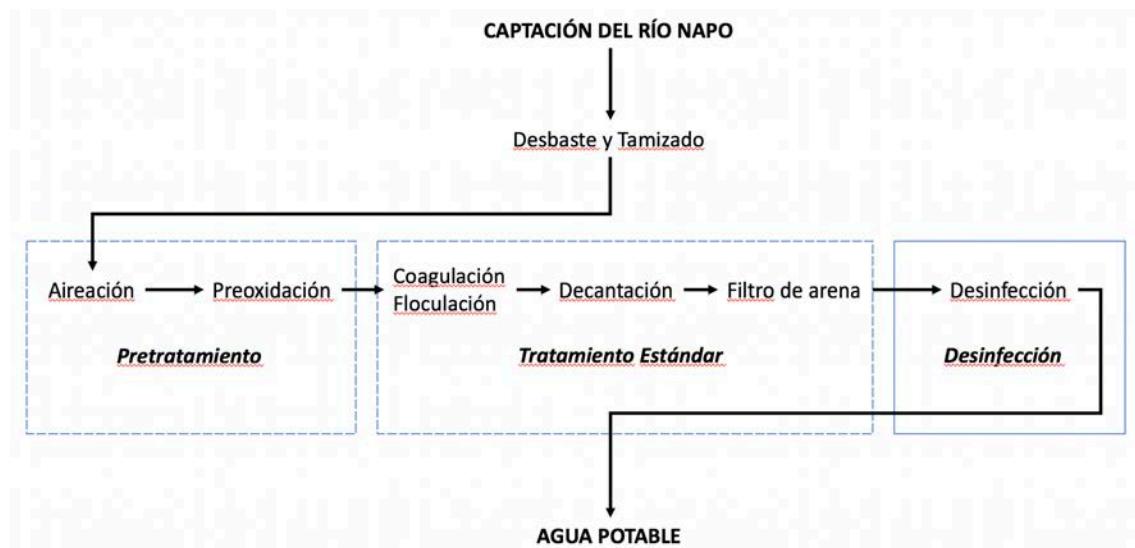


Figura 4: Esquema de la ETAP diseñada para los poblados de la región de estudio

² <https://drive.google.com/open?id=1uB10AcMMuT0RGX8jYKt4pcycwNM&usp=sharing>

³ <http://www.iadb.org/es/banco-interamericano-de-desarrollo,2837.html>

⁴ <http://www.ana.gob.pe/>

En el **Capítulo 5 – Acceso a Electricidad**, se analiza la situación actual de acceso eléctrico rural en Perú en base a indicadores del Banco Mundial⁵, y la tasa de acceso en el río Napo según datos del BID. Posteriormente, se describe la iniciativa “Luz en Casa Amazonía”⁶, llevada a cabo por Acciona Microenergía Perú, que ha proporcionado electricidad mediante sistemas fotovoltaicos domiciliarios (SFD) a los poblados de Vencedores de Zapote, Nuevo Antioquía y Nueva Unión.



Figura 5: Supervisión de los equipos de "Luz en Casa Amazonía" (Acciona Microenergía, 2016)

Después, se diseña una microrred para el poblado de Huitotos de Negro Urco empleando el modelo *Local Rural Electrification Model* (LREM)⁷ y el modelo *Reference Network Model* (RNM)⁸. Para establecer los nudos de demanda por tipo de cliente, se desarrolla un mapa con coordenadas GPS en base a imágenes de ArcGIS y Google Earth. Los perfiles de demanda empleados están basados en aquellos identificados para Karambi (Ruanda) en la tesis doctoral de Javier Santos⁹.



Figura 6: Resultado de la microrred diseñada para Huitotos de Negro Urco

⁵ <http://data.worldbank.org/indicator>

⁶ <https://sites.google.com/a/accioname.org/accioname-microenergia-peru/luz-en-casa-amazonia>

⁷ Desarrollado conjuntamente por el Instituto de Tecnología de Massachusetts MIT y el Instituto de Investigación Tecnológica IIT de la Universidad Pontificia Comillas, puesto en marcha y descrito en la tesis de master desarrollada por Vivian Li en el MIT: “*A Comprehensive Decision-Making Tool for the Design of Rural Microgrids*”

⁸ Desarrollado por IIT Comillas y utilizado para estudios de diseño de la red de distribución eléctrica en España y EEUU, entre otros países. Consultar: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5504171>

⁹ “*Metodología de Ayuda a la Decisión para la Electrificación Rural Apropriada en Países en Vías de Desarrollo*”, Universidad Pontificia Comillas ICAI-ICADE, 2016.

Para la generación, se plantean dos escenarios, uno solo con generación solar, y otro con generación híbrida, introduciendo un generador diésel de apoyo. Con el objetivo de analizar el Valor Actual Neto de cada proyecto, se realiza un análisis económico, teniendo en cuenta las tarifas BT5B oficiales y las subvenciones del Fondo Social de Compensación Eléctrica¹⁰ de Perú.

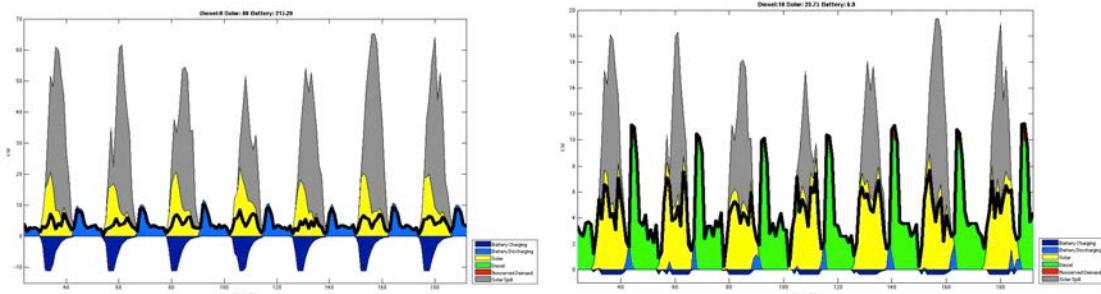


Figura 7: De izq. a dcha., despacho para la generación solar e híbrida

En el **Capítulo 6 – Análisis de Sostenibilidad**, se analiza cómo las mejoras propuestas en términos de acceso a electricidad y agua potable pueden afectar al capital económico, natural y social de la región, aumentando la actividad económica, reduciendo las emisiones de carbono, mejorando la salud pública o trabajando por la igualdad de género, entre otras.

Finalmente, en el **Capítulo 7 – Conclusión**, se hace un resumen de los efectos de las medidas sugeridas, y se estudia cómo estas afectan a los Objetivos del Desarrollo Sostenible propuestos por la ONU en 2015.

¹⁰ <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/pdf/LEY%20N%C2%BA%2027510.pdf>

STUDY ON UNIVERSAL ACCESS TO ELECTRICITY AND CLEAN WATER IN THE AMAZON

Author: Orden López, Raquel de la.

Director: Cledera Castro, María del Mar.

Director: González García, Andrés.

Collaborating Institution: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

ABSTRACT:

The purpose of this project is to improve current access to electricity (SDG-7¹) and clean water (SDG-6) for different isolated rural populations living on the riverside of the Napo river, district of Loreto, Peru.



Figure 1: Location of the Napo river, Peru

On **Chapter 2 – State of the Art**, one can find an exhaustive description of the current situation in the Amazon. From the problematic of its geographic delimitation, to its great abundance of natural resources (water, forest and ecosystems), or the cultural richness of its indigenous populations, as well as the serious human impact in the region caused by deforestation, hydroelectric plants, mining and fossil fuels. Lastly, a conceptual framework of sustainability is presented, which will be later used as a guideline to evaluate the project on its three spheres: economic, natural and social.



Figure 2: Map with the limits of the Amazon according to the Amazon river basin (National Geographic, 2015)

¹<http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

Chapter 3 – Study Region provides a brief synthesis of the history of Peru, from the pre-hispanic Peru, to the Incas, and the end of the military regime of Velasco Alvarado with the Constitution of 1980. There is also a description of the geographic and administrative organization of the country (with its 179 provinces and 1,765 districts), and a socio-economic analysis of the Peru as a whole, as well as the department of Loreto and the province of Maynas, where the study region is located. Finally, a map² with the coordinates and census of all the identified populations living on the riverside of the Napo is presented. This was used to determine the study region shown below.



Figure 3: Isolated rural populations benefited by the project

On **Chapter 4 – Access to Clean Water**, there is a description of current access to clean water in the region, based on data from the Inter-American Development Bank (IDB)³, as well as an analysis of the quality of the water in the river, based on a study by the Autoridad Nacional del Agua⁴ of Peru. Finally, a Potable Water Treatment Plant (PWTP) is dimensioned to supply all the villages in the study region.

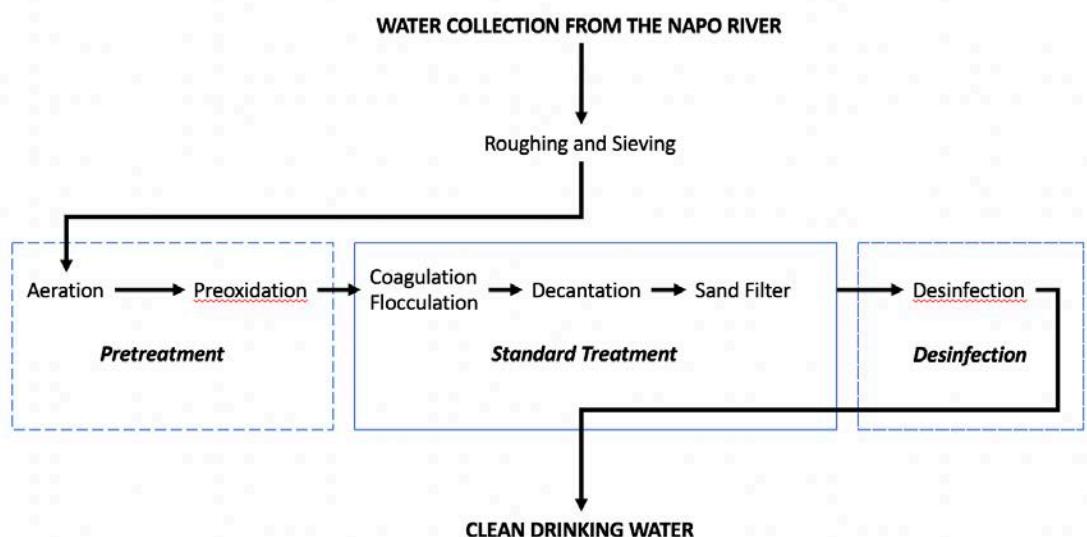


Figure 4: Diagram of the PWTP dimensioned for the study region

² <https://drive.google.com/open?id=1uBI0AcMMuT0RGX8jYKt4pcycwNM&usp=sharing>

³ <http://www.iadb.org/>

⁴ <http://www.ana.gob.pe/>

On **Chapter 5 – Access to Electricity**, there is an analysis of rural access to electricity in Peru, based on indicators by the World Bank⁵, as well as in the Napo river, based on information by the IDB. Later, there is a description of the program “Luz en Casa Amazonía”⁶ by Acciona Microenergía Peru, which has installed domestic photovoltaic systems (DPS) in the households of Vencedores de Zapote, Nuevo Antioquía and Nueva Unión.



Figure 5: Supervision of the DPS of the program "Luz en Casa Amazonía" (Acciona Microenergía, 2016)

Later, a micro-grid is designed for Huitotos de Negro Urco using the *Local Rural Electrification Model (LREM)*⁷ and the *Reference Network Model (RNM)*⁸. To determine the demand nodes, a map was created based on GPS images by ArcGIS and Google Earth. The demand profiles were based on those identified for Karambi (Ruanda) by Javier Santos⁹.



Figure 6: Result of the micro-grid developed for Huitotos de Negro Urco

⁵ <http://data.worldbank.org/indicator>

⁶ <https://sites.google.com/a/accioname.org/accionamicroenergia-peru/luz-en-casa-amazonia>

⁷ Developed in collaboration by the Massachusetts Institute of Technology MIT and the Institute of Technology Innovation IIT of the Universidad Pontificia Comillas, implemented and described in the master thesis by Vivian li at the MIT: “A Comprehensive Decision-Making Tool for the Design of Rural Microgrids”

⁸ Developed by IIT Comillas and used in different designs of grid distribution for Spain and the US, among other countries. Read: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5504171>

⁹ “Metodología de Ayuda a la Decisión para la Electrificación Rural Apropriada en Países en Vías de Desarrollo”, Universidad Pontificia Comillas ICAI-ICADE, 2016.

For the generation, two different scenarios were developed: one using only solar generation, and another using hybrid generation, introducing a diesel generation. With the aim of analyzing the Net Present Value of each project, an economic analysis was carried using the official BT5B tariffs and the subsidies by the Fondo Social de Compensación Eléctrica¹⁰ of Peru.

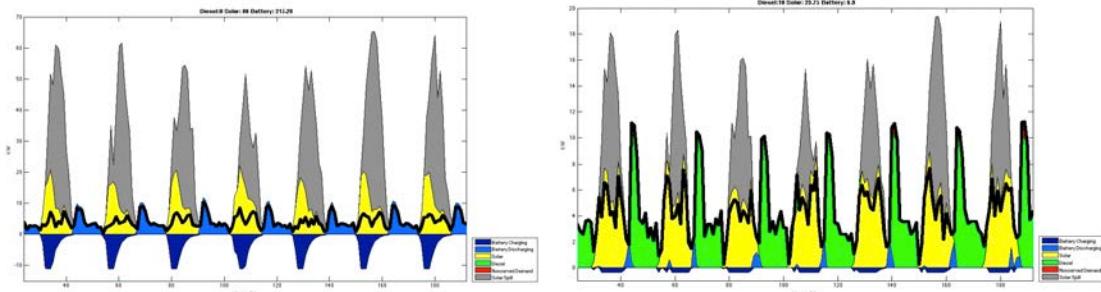


Figure 7: From left to right, dispatch for solar and hybrid generation

On **Chapter 6 – Sustainability Study**, there is an analysis of how the suggested improvements might affect the economic, natural and social capitals of the region, incrementing its economic activity, reducing carbon emissions, improving public health or working towards gender equality, among others.

Finally, on **Chapter 7 – Conclusion**, there is a brief summary of all the improvements suggested and an analysis of how these would affect the different Sustainable Development Goals proposed by the United Nations on 2015.

¹⁰ <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/pdf/LEY%20N%C2%BA%2027510.pdf>



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA – ICAI
Máster en Ingeniería Industrial

Estudio Sobre el Acceso Universal a Electricidad y Agua Potable en la Amazonía

- Raquel de la Orden López-

Directores:

María del Mar Cledera Castro
Andrés González García

Madrid
16 de Junio de 2017

Índice

Índice de Imágenes	5
Agradecimientos	13
Capítulo 1. – Introducción	15
1.1. Motivación	15
1.1.1. Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)	15
1.1.2. ODS-6 y ODS-7	16
1.1.3. Latinoamérica	16
1.2. Alcance y Objetivos	17
Capítulo 2. – Estado del Arte	19
2.1. Delimitación Geográfica	19
2.1.1. Tratado de Cooperación Amazónica	19
2.1.2. Problemática en la Delimitación Geográfica	20
2.1.3. Definición Política según el TCA	21
2.2. Recursos Naturales	23
2.2.1. Agua: El Río Amazonas	23
2.2.2. Flora: La Selva Amazónica	29
2.2.3. Fauna: Biodiversidad de la Amazonía	32
2.3. Población	34
2.3.1. Comunidades Indígenas	35
2.4. Impacto Humano	36
2.4.1. Deforestación	36
2.4.2. Plantas Hidroeléctricas	41
2.4.3. Petróleo y Gas	46
2.4.4. Minería	50
2.5. Marco Conceptual de la Sostenibilidad	54
2.5.1. Dificultades en la Definición de Sostenibilidad	54
2.5.2. Objetivos de la Sostenibilidad	55
2.5.3. Sostenibilidad Débil y Fuerte	56
2.5.4. Problema de la Distribución	57
2.5.5. Propuesta de Síntesis	57
2.5.6. Alcance Real de la Sostenibilidad	59
2.5.7. Medidas de Sostenibilidad	61
Capítulo 3. – Región de Estudio	65
3.1. Perú	65
3.1.1. Organización Geográfica y Administrativa	65
3.1.2. Síntesis Histórica	67
3.1.3. Análisis Demográfico	70
3.1.4. Análisis Socio-Económico	71
3.2. Río Napo	75
3.2.1. Departamento de Loreto	75
3.2.2. Provincia de Maynas	76
3.2.3. El Río Napo	78
3.2.4. Análisis Demográfico	79
3.2.5. Análisis Económico	80
3.2.6. Poblados Ribereños	82

Capítulo 4. – Acceso a Agua Potable	85
4.1. Situación Actual de Acceso	85
4.2. Calidad del Agua Superficial en el Río Napo	86
4.3. Diseño de una ETAP	94
4.3.1. Cálculos preliminares	94
4.3.2. Rejas de Desbaste	95
4.3.3. Tamices	96
4.3.4. Aireadores	96
4.3.5. Preoxidación	97
4.3.6. Coagulación-Floculación-Decantación	97
4.3.7. Filtro rápido de arena	99
4.3.8. Desinfección	101
Capítulo 5. – Acceso Eléctrico	103
5.1. Situación Actual de Acceso	103
5.2. Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios (SFD)	106
5.2.1. Cajamarca	106
5.2.2. Napo	108
5.3. Diseño de una Microrred para Huitotos de Negro Urco	110
5.3.1. Inputs	111
5.3.2. Resultados	118
5.3.4. Conclusión	129
Capítulo 6. – Análisis de Sostenibilidad	131
6.1. Introducción	131
6.2. Capital Económico	132
6.2.1. Agua Potable	132
6.2.2. Electricidad	132
6.3. Capital Natural	134
6.3.1. Agua Potable	134
6.3.2. Electricidad	134
6.4. Capital Social	135
6.4.1. Agua Potable	135
6.4.2. Electricidad	136
Capítulo 7. – Conclusión	139
7.1. Efectos de las Mejoras Sugeridas	139
7.2. Impacto sobre los ODS	140
7.3. Comentarios Finales	141
Bibliografía	143

Índice de Imágenes

Capítulo 1. – Introducción

Figura 1.1: Objetivos del Desarrollo Sostenible (United Nations, 2015) _____	15
Figura 1.2: Objetivos del Desarrollo Sostenible sobre los que actúa el TFM _____	16
Figura 1.3: Foto oficial de los interns del Banco Inter-American de Desarrollo en el verano de 2016 con el presidente, Luis Alberto Moreno _____	17
Figura 1.4: Localización del río Napo en Perú _____	17

Capítulo 2. – Estado del Arte

Figura 2.1: Firma del Tratado de Cooperación Amazónica _____	20
Figura 2.2: Territorios definidos por cada país como parte del TCA y sus superficies respectivas (European Communities et al., 2005). Nótese que se ha incluido Guayana _____	20
Figura 2.3: Delimitación propuesta Amazonía sensu latissimo (en rojo) – compuesta de una subregión de Amazonía sensu stricto (línea punteada) y cuatro regiones periféricas: Andes, Planalto, Guayana y Gurupí. (Eva et al., 2005) _____	22
Figura 2.4: Mapa del río Amazonas y su cuenca elaborado por Cristóbal de Acuña, en 1639.(Pineda Camacho, 2013) _____	23
Figura 2.5: Río Amazonas desde su desembocadura hasta la frontera con Perú (Pineda Camacho, 2013) _____	24
Figura 2.6: Cuencas hidrográficas en la Amazonía (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012) _____	25
Figura 2.7: El Río Amazonas y sus principales afluentes (Bara Neto et al., 2006) _____	25
Figura 2.8: Ciclo del agua en la selva amazónica (National Geographic, 2015) _____	26
Figura 2.9: Inundación de la selva durante la época húmeda (National Geographic, 2015) _____	26
Figura 2.10: Ciclo del agua en los árboles de la selva amazónica (National Geographic, 2012) _____	27
Figura 2.11: Embarcación local destinada al transporte de viajeros en el río Napo, afluente del Amazonas (Banco Interamericano de Desarrollo, 2010) _____	28
Figura 2.12: Embarcación destinada al transporte de mercancías en el río Napo, afluente del Amazonas (Banco Interamericano de Desarrollo, 2010) _____	28
Figura 2.13: Mapa con los límites de la Amazonía según la cuenca del Río Amazonas (National Geographic, 2015) _____	29
Figura 2.14: Igapó en la selva amazónica (National Geographic, 2015) _____	30
Figura 2.15: Várzea en la selva amazónica (National Geographic, 2015) _____	30
Figura 2.16: Terra Firme en la selva amazónica (National Geographic, 2015) _____	31
Figura 2.17: Selva amazónica en Brasil (Frazao Media - GettyImages) _____	31
Figura 2.18: Mono tamarín de cabeza dorada en la selva amazónica (Tom Applegate – GettyImages) _____	32
Figura 2.19: Número de especies totales identificadas en el mundo y en Brasil (Lewinsohn & Prado, 2005) _____	32
Figura 2.20: Nuevas especies descubiertas en la Amazonía entre 1999-2015 (Charity et al., 2016) _____	33
Figura 2.21: De izq. a dcha., delfín rosa, jaguar y tucán (20minutos, 2012) _____	33
Figura 2.22: Arrecife de coral frente a la desembocadura del río Amazonas (Greenpeace, 2016) _____	33
Figura 2.23: Crecimiento de la población en los países amazónicos entre 1960-2015 (World Bank, 2015) _____	34
Figura 2.24: Mujer indígena en la zona ecuatoriana del Amazonas (REPAM) _____	35
Figura 2.25: Mapa con los territorios indígenas, en amarillo, del Amazonas (National Geographic, 2015) _____	35
Figura 2.26: Deforestación causada por el incendio de Mato Grosso, que acabó con el 38% de la vegetación de la región (Rodrigo Baleia, 2017) _____	36
Figura 2.27: Deforestación de la selva amazónica, en amarillo (National Geographic, 2015) _____	36
Figura 2.28: Deforestación causada por la agricultura extensiva de soja en Mato Grosso (Rodrigo Baleia, 2017) _____	37

Figura 2.29: Deforestación causada por la cría de ganado en la Amazonía brasileña (Rodrigo Baleia, 2017)	37
Figura 2.30: Deforestación causada por los hornos de carbón vegetal en Maranhao, al noreste de Brasil (Rodrigo Baleia, 2017)	37
Figura 2.31: Deforestación asociada con la construcción de la autopista Inter-Oceánica, en Perú (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)	38
Figura 2.32: Aserradero ilegal cerca de Río Pardo, Brasil (St. Fleur, 2015)	38
Figura 2.33: Proporción de la deforestación de la Amazonía entre 2000-2010, por país (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)	39
Figura 2.34: Deforestación de la Amazonía entre 2000-2010, por país (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)	40
Figura 2.35: Deforestación en Xapuri, al noroeste de Brasil (Yasuyoshi Chiba, Agence France-Presse, 2015)	40
Figura 2.36: Presa Tucuruí, Brasil (Ricardo Lima - Getty Images)	41
Figura 2.37: Cantidad de plantas hidroeléctricas por país en la Amazonía, por tipo y fase (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)	42
Figura 2.38: Plantas hidroeléctricas con una capacidad superior a los 300 MW en la Amazonía (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)	42
Figura 2.39: Vista de la construcción de la planta de Belo Monte, Pará, Brasil	42
Figura 2.40: Plantas hidroeléctricas en la Amazonía, por tipo y fase (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)	43
Figura 2.41: Miembros de la tribu Munduruku durante una "Caravana de Resistencia" contra Tapajó en 2015 (Mario Tama – Getty Images)	44
Figura 2.42: Protestas indígenas contra Belo Monte (Lunae Parracho, 2013)	44
Figura 2.43: Evolución del consumo energético per cápita en los países amazónicos 1960-2015 (World Bank, 2015)	45
Figura 2.44: Evolución del porcentaje de producción mediante renovables (incluyendo hidráulica) en los países amazónicos 1990-2015 (World Bank, 2015)	45
Figura 2.45: Actividades extractivas llevadas a cabo en Ecuador por la petrolera Río Napo (Agencia Pública de Noticias de Ecuador y Sudamérica, 2013)	46
Figura 2.46: Superficie de los bloques de gas y petróleo en la Amazonía, en km2 (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)	47
Figura 2.47: Bloques de gas/petróleo en la Amazonía (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)	47
Figura 2.48: Compañías con bloques de gas/petróleo con más de 10.000 km2 (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)	48
Figura 2.49: Vertidos de un gaseoducto en los ríos Santa Rosa, Quijos y Coca, en Ecuador (Juan Calles, 2009)	48
Figura 2.50: Proporción de los territorios indígenas cubierta por bloques de petróleo y gas (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)	49
Figura 2.51: Vertido de crudo en la Amazonía peruana (Rodrigo Buendía – Getty Images, 2016)	49
Figura 2.52: Alunorte, la refinería de aluminio más grande del mundo, Pará, Brasil (Paulo Santos, 2006)	50
Figura 2.53: Cantidad y superficie de los bloques mineros en la Amazonía, por país (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)	50
Figura 2.54: Principales proyectos mineros en la Amazonía (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)	51
Figura 2.55: La mina abierta de hierro más grande del mundo, Carajás, Brasil (Pedro Martinelli, 1996)	51
Figura 2.56: Mina ilegal de oro en Madre de Dios, Perú (Thomas Müller, 2010)	52
Figura 2.57: Exportaciones minerales dentro de las exportaciones totales de los países amazónicos, en porcentaje (World Bank, 2015)	52
Figura 2.58: Porcentaje del PIB de los países amazónicos derivado de las exportaciones de recursos naturales (World Bank, 2012)	53
Figura 2.59: Evolución del PIB per cápita en los países amazónicos 1960-2015 (World Bank, 2015)	53
Figura 2.60: Las tres esferas de la sostenibilidad (Yates, 2012)	58
Figura 2.61: Evolución de los índices de democratización y convergencia en esperanza de vida 1900-2000 (Acemoglu, 2012)	60

Figura 2.62: Relación entre la esperanza de vida y el PIB per cápita (Gapminder, 2015)	60
Figura 2.63: PIB per cápita de las principales regiones en desarrollo (World Bank, 2015)	61
Figura 2.64: Clasificación de los principales índices de sostenibilidad	63

Capítulo 3. – Región de Estudio

Figura 3.1: Vista del atardecer en la fortaleza inca de Machu Picchu, Perú (traumlichtfabrik – Getty Images)	65
Figura 3.2: Datos geográficos y demográficos de los departamentos de Perú (Portillo Sisniega et al., 2006)	66
Figura 3.3: Mapa de distritos en Perú (Portillo Sisniega et al., 2006)	67
Figura 3.4: Evolución de la población total de Perú (World Bank, 2015)	70
Figura 3.5: Visión satélite de Lima, Perú (Planet Observer - Getty Images, 2014)	71
Figura 3.6: Vista aérea de Lima y sus acantilados al océano Pacífico (Paul Kennedy - Getty Images)	71
Figura 3.7: Evolución del PIB per cápita en Perú 1960-2015 (World Bank, 2015)	72
Figura 3.8: Evolución del índice GINI en Perú 1997-2014 (World Bank, 2014)	73
Figura 3.9: Distribución de ingresos por quintiles en Latino América (World Bank, 2016)	73
Figura 3.10: Porcentaje de la población por debajo de la línea de pobreza en Latino América (World Bank, 2016)	74
Figura 3.11: Evolución del porcentaje de la población peruana bajo el índice de la pobreza por región 2004-2012 (World Bank, 2012)	74
Figura 3.12: Departamento de Loreto, Perú (Google Maps, 2017)	75
Figura 3.13: Provincias dentro del departamento de Loreto, Perú (UNAP, 2007)	76
Figura 3.14: Distritos del área metropolitana de Iquitos, Perú (EdwinJs - Wikiviajes, 2015)	76
Figura 3.15: Vista aérea de Iquitos, capital de Loreto, Perú (DeAgostini - Getty Images, 2011)	77
Figura 3.16: Confluencia del río Napo con el Amazonas, Perú (Erica Naranjo, 2012)	77
Figura 3.17: El río Napo (Banco Interamericano de Desarrollo, 2010)	78
Figura 3.18: Confluencia del río Napo con el Amazonas peruano (Collart Hervé - Getty Images)	79
Figura 3.19: Pescadores en el río Napo (Jeffrey L. Rotman - Getty Images)	80
Figura 3.20: Valor Agregado Bruto por industria para el departamento de Loreto (INEI, 2008)	81
Figura 3.21: Estructura porcentual del VAB en el departamento de Loreto (INEI, 2012)	81
Figura 3.22: Localización de los poblados en la ribera del río Napo	82
Figura 3.23: Localización de la región de estudio dentro del río Napo	83
Figura 3.24: Vista en detalle de los poblados afectados por el proyecto	83

Capítulo 4. – Acceso a Agua Potable

Figura 4.1: Datos de acceso a servicios de agua potable y saneamiento en el río Napo (BID, 2012)	86
Figura 4.2: Cuadro con puntos de monitoreo de la calidad del agua superficial en el río Napo (ANA, 2016)	86
Figura 4.3: Plano con puntos de monitoreo de la calidad del agua superficial en el río Napo (ANA, 2016)	87
Figura 4.4: Resultados de parámetros de calidad del agua río Napo, parte 1 (ANA, 2016)	89
Figura 4.5: Resultados de parámetros de calidad del agua río Napo, parte 2 (ANA, 2016)	90
Figura 4.6: Resumen de los parámetros que exceden los ECA-AGUA CAT-4 en el río Napo (ANA, 2016)	91
Figura 4.7: Puntos de muestreo QYana1 y RSMari1 (Alto Napo), de izq. a dcha. (ANA, 2016)	91
Figura 4.8: Puntos de muestreo QTara1 (Medio Napo) y RSucu1 (río Sucusari antes de la confluencia con el Bajo Napo). (ANA, 2016)	92
Figura 4.9: Localización de los poblados ribereños entre los puntos de monitoreo de la calidad del agua RNapo10 y RNapo11 (Google Maps, 2017)	93
Figura 4.10: Localización de los poblados ribereños tenidos en cuenta para el diseño de la ETAP y su relación con el punto de monitoreo RNapo10 (Google Maps, 2017)	93
Figura 4.11: Esquema propuesto para la ETAP	94
Figura 4.12: Reja de desbaste manual (Bupolsa)	96

Capítulo 5. – Acceso a Electricidad

Figura 5.1: Acceso Eléctrico Total en Países Amazónicos (World Bank, 2016) _____	103
Figura 5.2: Acceso Eléctrico para la Población Rural de los Países Amazónicos (World Bank, 2016) _____	104
Figura 5.3: Datos de acceso a servicio de electricidad en el río Napo (BID, 2012) _____	104
Figura 5.4: Poblaciones afectadas por el programa "Luz en Casa Amazonía" y su relación con Huitotos de Negro Urco _____	105
Figura 5.5: Características técnicas de los SFD del programa "Luz en Casa Cajamarca" (Acciona Microenergía, 2015) _____	106
Figura 5.6: Modelo tecnológico de los SFD instalados para el programa "Luz en Casa Cajamarca" (Acciona Microenergía, 2015) _____	106
Figura 5.7: Modelo de gestión del programa "Luz en Casa Cajamarca" (Acciona Microenergía, 2015) _____	107
Figura 5.8: Instalación de los SFD y formación de los técnicos locales para el proyecto "Luz en Casa" en Cajamarca, Perú (Acciona Microenergía, 2016) _____	107
Figura 5.9: Comunidad ribereña al río Napo (Acciona Microenergía, 2016) _____	108
Figura 5.10: Formación de los CEF en Nueva Antioquia (Acciona Microenergía, 2016) _____	109
Figura 5.11: Supervisión de los equipos de "Luz en Casa Amazonía" (Acciona Microenergía, 2016) _____	109
Figura 5.12: Esquema de funcionamiento del modelo LREM (Li, 2016) _____	110
Figura 5.13: Esquema del algoritmo de optimización del modelo LREM, tomado de información del Dr. Fernando de Cuadra, profesor del IIT Comillas (Li, 2016) _____	110
Figura 5.14: Información técnica sobre los paneles FV disponibles para el modelo LREM (Li, 2016) _____	111
Figura 5.15: Información sobre la batería disponible para el modelo LREM (Li, 2016) _____	111
Figura 5.16: Información técnica sobre los generadores diesel disponibles para el modelo LREM (Li, 2016) _____	111
Figura 5.17: Transformadores MT/BT disponibles para el modelo LREM (Li, 2016) _____	111
Figura 5.18: Cables de BT disponibles para el modelo LREM (Li, 2016) _____	112
Figura 5.19: Imagen GPS del poblado Huitotos de Negro Urco, disponible a través de ArcGis _____	113
Figura 5.20: Vista en detalle de Huitotos de Negro Urco (parte 1), disponible a través de ArcGis. _____	113
Figura 5.21: Vista en detalle de Huitotos de Negro Urco (parte 1), disponible a través de Google Earth _____	114
Figura 5.22: Vista en detalle de Huitotos de Negro Urco (parte 2), disponible a través de ArcGis _____	114
Figura 5.23: Vista en detalle de la localización de la iglesia en Huitotos de Negro Urco, disponible a través de Google Earth _____	115
Figura 5.24: Vista en detalle de la localización del colegio de secundaria en Huitotos de Negro Urco, disponible a través de Google Earth _____	115
Figura 5.25: Hábitos y horarios actividades diarias para Karambi, Ruanda (Santos Pérez, 2015) _____	116
Figura 5.26: Datos sobre los perfiles de demanda en Karambi (Rwanda), utilizados para el diseño de la microrred de Huitotos de Negro Urco (Li, 2016) _____	116
Figura 5.27: Gráficas de los perfiles de demanda en Karambi (Rwanda), utilizados para el diseño de la microrred de Huitotos de Negro Urco (Li, 2016) _____	117
Figura 5.28: Lugar destinado a la generación eléctrica para la microrred de Huitotos de Negro Urco _____	118
Figura 5.29: Microrred diseñada para Huitotos de Negro Urco (azul), a través del modelo LREM y RNM _____	119
Figura 5.30: Microrred sugerida para el centro del poblado Huitotos de Negro Urco _____	120
Figura 5.31: Normativa en tarifas eléctricas para usuarios de Baja Tensión _____	121
Figura 5.32: Tarifas mensuales para usuarios residenciales en Huitotos de Negro Urco _____	121
Figura 5.33: Tarifas mensuales para usuarios no residenciales en Huitotos de Negro Urco _____	121
Figura 5.34: Tablas de Descuento del Fondo Social de Compensación Eléctrica _____	122
Figura 5.35: Configuración del sistema de generación mediante paneles FV y baterías dentro del modelo LREM (Li, 2016) _____	123
Figura 5.36: Resultados del mix de generación para el escenario A (paneles FV y baterías). _____	123
Figura 5.37: Despacho de la microrred de Huitotos de Negro Urco para el escenario de generación A (paneles FV y baterías) _____	123
Figura 5.38: Cálculo de los ingresos anuales para el escenario de generación A (paneles FV+baterías) para la microrred de Huitotos de Negro Urco _____	124
Figura 5.39: Estudio financiero del escenario A (paneles FV+baterías) para la microrred de Huitotos de Negro Urco _____	125

Figura 5.40: Configuración del sistema de generación híbrido (paneles FV, baterías y diésel) dentro del modelo LREM (Li, 2016) _____	126
Figura 5.41: Resultados del mix de generación para el escenario B (paneles FV, baterías y diésel) _____	126
Figura 5.42: Despacho de la microrred de Huitotos de Negro Urco para el escenario de generación B (paneles FV, baterías y diésel) _____	126
Figura 5.43: Cálculo de los ingresos anuales para el escenario de generación B (paneles FV, baterías y diésel) para la microrred de Huitotos de Negro Urco _____	127
Figura 5.44: Estudio financiero del escenario B (paneles FV, baterías y diésel) para la microrred de Huitotos de Negro Urco _____	128
Figura 5.45: Coste de la Energía No Suministrada para la microrred híbrida de Huitotos de Negro Urco _____	129

Capítulo 6. – Análisis de Sostenibilidad

Figura 6.1: Efecto de la cobertura móvil en el índice de pobreza rural en Perú (Vakis et al., 2016) _____	133
Figura 6.2: Relación entre el acceso eléctrico y el índice de pobreza (Vakis et al., 2016) _____	134
Figura 6.3: Relación entre el índice de pobreza y la población afectada por desastres naturales (Vakis et al., 2016) _____	135
Figura 6.4: Relación entre el acceso a agua potable y la seguridad alimenticia (FAO Water, 2016) _____	135
Figura 6.5: Mujer trabajando en artesanía gracias a la mejora en el acceso eléctrico de su hogar (World Bank, 2008) _____	136
Figura 6.6: Niño estudiando en su casa gracias a los SFD instalados por Acciona Microenergía Perú (FOMIN, 2014) _____	137

Capítulo 7. – Conclusión

Figura 7.1: Número de viviendas en los poblados de la región de estudio _____	139
---	-----

“We need to defend the interests of those whom we've never met and never will.”

- Jeffrey D. Sachs

“There is no tool for development more effective than the empowerment of women”

- Kofi Annan

Agradecimientos

*“Let us be grateful to the people who make us happy;
they are the charming gardeners who make our souls blossom”*

- Marcel Proust

Gracias a mi familia, no solo por su apoyo con este proyecto, sino por ser un pilar fundamental en mi vida, especialmente durante mis años en ICAI. Gracias a mi padre, Javier, por darme buenos consejos en cada momento de incertidumbre y ayudarme a entender qué es lo realmente importante. Gracias a mi madre, Margarita, por tener siempre palabras de cariño y apoyo. Gracias a mis hermanos, Ana y Gonzalo, por vuestra comprensión en mis momentos difíciles. Gracias, ahora y siempre. Sin vosotros no habría podido llegar hasta donde estoy hoy.

Gracias a mis directores, Mar y Andrés, por haberme dado la oportunidad de trabajar y aprender con vosotros. Gracias por vuestras innumerables fuentes de información y consejos prácticos. Gracias por vuestra comprensión durante este último año. Gracias por ayudarme a redirigir este proyecto en cada callejón sin salida, y por haberme animado a descubrir por mí misma cada siguiente paso.

Gracias a mis profesores. Sin el conocimiento aprendido durante estos últimos seis años, no habría podido realizar este proyecto.

Gracias a la Autoridad Nacional del Agua de Perú, por haberme proporcionado los datos sobre la calidad superficial del agua en el río Napo de forma tan rápida y desinteresada. Gracias a mi tío José Antonio, por haberme guiado en la búsqueda de información relacionada con el capítulo del agua, y por haber hecho de puente con los organismos oficiales en Perú.

Gracias a Pedro Ciller, por haber compartido conmigo tu profundo conocimiento del modelo LREM para el diseño de la microrred.

Gracias a mis amigos, por apoyarme en los momentos malos y celebrar conmigo los momentos buenos.

Gracias Carlos, por ayudarme a dar lo mejor de mí misma durante estos años.

Capítulo 1. – Introducción

1.1. Motivación

1.1.1. Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)

En septiembre de 2015, con motivo del septuagésimo aniversario de la ONU, se acordaron los nuevos Objetivos del Desarrollo Sostenible de alcance mundial, incluidos en la Agenda 2030.



Figura 1.1: Objetivos del Desarrollo Sostenible (United Nations, 2015)

La nueva Agenda se inspira en los propósitos y principios de la Carta de las Naciones Unidas, incluido el pleno respeto del derecho internacional. Sus fundamentos son la Declaración Universal de Derechos Humanos, los tratados internacionales de derechos humanos, la Declaración del Milenio y el documento final de la Cumbre Mundial 2005. Se basa asimismo en otros instrumentos, como la Declaración sobre el Derecho al Desarrollo. (United Nations, 2015)

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible conjugan las tres dimensiones del desarrollo sostenible: económica, social y ambiental. Con ellos se pretenden retomar los Objetivos de Desarrollo del Milenio, y dirigir la acción en las esferas de importancia crítica para la humanidad y el planeta.

1.1.2. ODS-6 y ODS-7

Tanto el agua como la energía son esenciales para la vida y la actividad económica. No obstante, gran parte de la población mundial carece de acceso a ambos. Según el Banco Mundial, 780 millones de personas carecen de acceso a agua potable en el mundo, mientras que 1.3 billones no tiene acceso a electricidad.

El crecimiento de la población y el desarrollo económico, junto con el cambio climático, harán que aumente la presión sobre estos recursos. Por ello, y siguiendo la línea de acción de los ODS, en el presente proyecto se han querido desarrollar dos de los objetivos más importantes:

- ODS-6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos
- ODS-7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.



Figura 1.2: Objetivos del Desarrollo Sostenible sobre los que actúa el TFM

1.1.3. Latinoamérica

En 2016 tuve la oportunidad de trabajar en el Banco Inter-American de Desarrollo (Washington D.C.), donde pude ver de primera mano cuáles son los esfuerzos de los organismos internacionales en materia de electrificación rural, saneamiento de aguas y cambio climático.

Esta experiencia no solo reafirmó mi interés por el desarrollo sostenible, sino que también estableció un fuerte vínculo con la comunidad latinoamericana, con la que los españoles compartimos nuestra historia, lengua y costumbres.



Figura 1.3: Foto oficial de los *interns* del Banco Inter-American de Desarrollo en el verano de 2016 con el presidente, Luis Alberto Moreno

Dentro de este contexto de interés por el desarrollo internacional en general, y Latinoamérica en particular, se gestó el proyecto “Estudio sobre el Acceso Universal a Energía y Agua Potable en la Amazonía”.

1.2. Alcance y Objetivos

El objetivo de este proyecto es mejorar la situación actual de acceso a electricidad (ODS-7) y agua potable (ODS-6) para varias poblaciones rurales aisladas situadas en la ribera del río Napo, distrito de Loreto, Perú.



Figura 1.4: Localización del río Napo en Perú

En el **Capítulo 2**, resumirá el contexto actual de la Amazonía, pasando por su descripción geográfica, natural y demográfica, así como el impacto humano en la zona. Asimismo, se planteará el marco conceptual de sostenibilidad que servirá como guía para evaluar el impacto del proyecto en capítulos posteriores.

En el **Capítulo 3**, se realizará un breve análisis socio-económico de Perú, haciendo especial hincapié en el departamento de Loreto, y los distritos de Torres Causana, Napo y Mazán, donde está situada la región de estudio.

En el **Capítulo 4**, se llevará a cabo un estudio para mejorar el acceso actual a agua potable. Para ello, se analizará la calidad del agua superficial en el río Napo, y se dimensionará una ETAP para abastecer a los poblados de la región de estudio.

En el **Capítulo 5** se estudiarán diferentes alternativas para mejorar el acceso actual a electricidad. Para ello, se estudiará el proyecto “Luz en Casa Amazonía” de Acciona Microenergía Perú¹, que pretende instalar SFD3G en los poblados de Nuevo Antioquía, Vencedores de Zapote y Nueva Unión. Posteriormente, se diseñará una microrred para otro de los poblados: Huitotos de Negro Urco.

En el **Capítulo 6** se realizará un análisis de sostenibilidad, en el que se verá cómo las mejoras en el acceso afectan al capital económico, natural y social de la región.

Por último, en el **Capítulo 7** se resumirán los efectos de las medidas sugeridas a lo largo del proyecto, y se verá su relación con los distintos Objetivos del Desarrollo Sostenible.

¹ <https://sites.google.com/a/accioname.org/accioname-microenergia-peru/luz-en-casa-amazonia>

Capítulo 2. – Estado del Arte

2.1. Delimitación Geográfica

Definir la delimitación geográfica de la Amazonía puede ser un desafío tanto a nivel científico como administrativo. La ecorregión de la Amazonía no es necesariamente idéntica a la cuenca del río Amazonas, y ambas son áreas que hacen frente a importantes cambios, tanto naturales, como debidos al ser humano.

No obstante, definir la extensión geográfica de la Amazonía es de gran relevancia para poder resolver muchos problemas políticos, empezando por una cuestión tan simple como definir la población del Amazonas, y acabando por problemas tan complejos como estimar el balance de carbón del río para estudiar el cambio climático.

De hecho, la Amazonía es un conjunto de ecosistemas de enorme impacto global y, por ello su desarrollo sostenible es de vital importancia no solo para los países involucrados, sino para toda la comunidad internacional, incluyendo Europa.

2.1.1. Tratado de Cooperación Amazónica

El Tratado de Cooperación Amazónica (TCA), firmado en julio de 1987 por Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela, es el instrumento jurídico que reconoce la naturaleza transfronteriza de la Amazonía.

El TCA reafirma la soberanía de los países amazónicos e incentiva, institucionaliza y reorienta el proceso de cooperación regional entre los mismos. Asimismo, prevé el incremento de la investigación científica y tecnológica, el intercambio de

informaciones, la utilización del patrimonio cultural, los cuidados con la salud, la creación de centros de investigación, el incremento del turismo y comercio fronterizo y el establecimiento de una adecuada infraestructura.



Figura 2.1: Firma del Tratado de Cooperación Amazónica

Su objetivo principal es la promoción del desarrollo armónico de la Amazonía, y la incorporación de sus territorios a las respectivas economías nacionales.

En 1998, se formalizó la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA) como mecanismo responsable del perfeccionamiento y fortalecimiento del proceso de cooperación del Tratado.

2.1.2. Problemática en la Delimitación Geográfica

Actualmente, los países pertenecientes a la OTCA utilizan cada uno sus propias definiciones, que pueden ser físicas (por ejemplo, en base a la zona de selva o a la cuenca del río) o no (p. ej., administrativas). Incluso aunque los países utilizasen los mismos criterios, pueden utilizar distintos límites (p. ej. la altitud de las zonas para diferenciar entre las regiones de los Andes y del Amazonas). (European Communities et al., 2005)

País	Superficie incluida en TCA (km ²)	Porcentaje (%)	Territorio incluido
Bolivia	600.000	7,9	Cuenca fluvial y bosque
Brasil	5.144.800	76,8	Amazonía legal
Colombia	419.346	5,5	Amazonía legal
Ecuador	131.000	1,7	Cuenca fluvial y bosque
Guyana	215.000	2,8	Bosque
Perú	756.922	10,0	Cuenca fluvial y bosque
Surinam	142.800	1,9	Bosque
Venezuela	180.145	2,4	Estado de Amazonas
Total	7.590.083		

Figura 2.2: Territorios definidos por cada país como parte del TCA y sus superficies respectivas (European Communities et al., 2005). Nótese que se ha incluido Guayana

Aunque a nivel nacional esto no supone necesariamente un problema, a nivel regional puede crear conflictos a la hora de juntar información y datos estadísticos importantes. En Venezuela, por ejemplo, podrían hacerse tres definiciones de la región

amazónica: la parte del país que vierte sus aguas en la cuenca del Amazonas (53.280 km²), el Estado de Amazonas (180.145 km²) o toda la región de la Guayana Venezolana (453.950 km²).

2.1.3. Definición Política según el TCA

Sin perjuicio de los diferentes criterios de carácter técnico que existen, para efectos del presente proyecto se ha decidido acoger la definición acordada en el estudio realizado por la Comisión Europea en 2004, a petición de la OTCA.

Las bases científicas para su propuesta de delimitación se extrajeron del artículo II del propio texto del TCA:

“Artículo II. – El presente Tratado se aplicará en los territorios de las Partes Contratantes en la Cuenca Amazónica, así como también en cualquier territorio de una Parte Contratante que, por sus características geográficas, ecológicas o económicas se considere estrechamente vinculado a la misma”. (TCA)

Se acordaron los siguientes criterios:

- Criterio hidrográfico, basado en la extensión total de la Cuenca Amazónica (sistemas fluviales de los ríos Amazonas y Tocantins), que forma el elemento central constituyente de la definición
- Criterio ecológico, que divide la Cuenca Amazónica definida en subregiones, las cuales, aun perteneciendo a diferentes ecoregiones, ejercen fuertes influencias directas e indirectas sobre toda la región de las tierras bajas de la Amazonía
- Criterio biogeográfico, que complementa la zona anteriormente definida como Cuenca Amazónica, usando como indicador la extensión históricamente conocida del bioma forestal amazónico de tierra baja (*Amazon lowland rainforest*) en el norte de Sudamérica

El resultado puede verse en la Figura 2.3: Delimitación propuesta Amazonía *sensu latissimo* (en rojo) – compuesta de una subregión de Amazonía *sensu stricto* (línea punteada) y cuatro regiones periféricas: Andes, Planalto, Guayana y Gurupí. (Eva et al., 2005) en la que una Amazonía *sensu latissimo* (en rojo) da toda la extensión de la delimitación. Sin embargo, aceptando las amplias diferencias biogeográficas y geomorfológicas, la región se divide en cinco subregiones: una subregión central (Amazonía *sensu stricto*) y cuatro periféricas: Andes, Planalto, Guayana y Gurupí.

- La subregión de Amazonía *sensu stricto* está definida por el límite de la Cuenca Amazónica al norte, la curva de nivel de los 700 m snm al oeste, y la región del bosque pluvial amazónico (antes de la explotación) al sur y al sudeste.
- La subregión de los Andes va desde la zona de altitud de los 700 m hasta las cabeceras del Río Amazonas.
- La subregión Planalto es la que se encuentra entre el límite del bioma forestal amazónico de tierra baja y los límites de las cabeceras de los ríos Amazonas/Tocantins.

- La subregión de Guayana linda al norte con la costa del Atlántico y con los ríos Orinoco y Vichada, mientras que su límite meridional está constituido por la divisoria con la Cuenca Amazónica.
- En la subregión Gurupí, que se ubica fuera de la Cuenca Amazónica, se encuentra la extensión más al este del bioma forestal amazónico de tierra baja

En conclusión, de ahora en adelante, cualquier mención a la Amazonía dentro del presente proyecto estará relacionada con la definición de Amazonía *sensu latissimo*, salvo que se especifique de otra forma.



Figura 2.3: Delimitación propuesta Amazonía *sensu latissimo* (en rojo) – compuesta de una subregión de Amazonía *sensu stricto* (línea punteada) y cuatro regiones periféricas: Andes, Planalto, Guayana y Gurupí. (Eva et al., 2005)

2.2. Recursos Naturales

2.2.1. Agua: El Río Amazonas



Figura 2.4: Mapa del río Amazonas y su cuenca elaborado por Cristóbal de Acuña, en 1639.(Pineda Camacho, 2013)

El Río Amazonas representa una de las más importantes fuentes de agua dulce del planeta, entre el 20% del total.

Este río de aguas fangosas nace en los Andes peruanos, para recorrer miles de kilómetros, antes de desembocar en el Atlántico a través de un gran delta, que rodea la isla de Marajó, la cual tiene un área casi igual a Suiza.

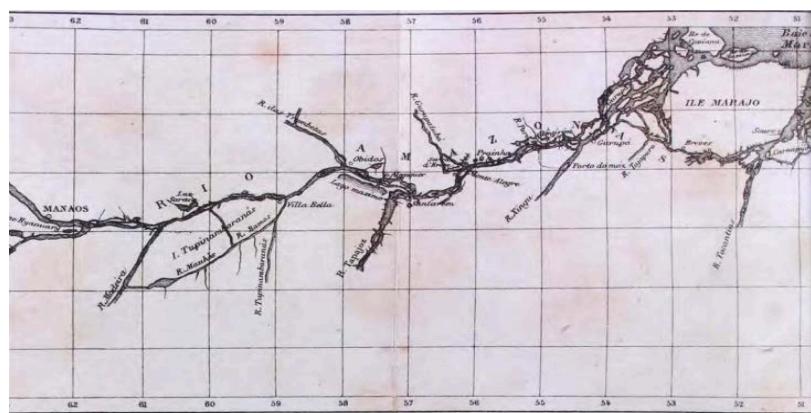


Figura 2.5: Río Amazonas desde su desembocadura hasta la frontera con Perú (Pineda Camacho, 2013)

El río Amazonas (llamado por los brasileños Solimoes hasta Manaos, y luego sí, aguas abajo, Amazonas) se nutre de multitud de afluentes, entre ellos los ríos Madeira y Negro, que engrosan su cauce y condicionan el paisaje, creando una riqueza ictiológica única en el mundo.

Durante casi cuatro siglos, gran parte de la actividad económica de la cuenca del Amazonas ha estado fundada en los ciclos de creciente/bajada del río, en los ritmos estacionales de lluvias, en la pesca de sus grandes lagos y en los recorridos por canales que se abren durante las épocas de inundación. Ha sido una vía de comunicación de bienes y personas, que ha permitido el abastecimiento de comerciantes a lo largo de toda la geografía circundante.

No obstante, en los últimos años han surgido nuevos y serios desafíos. La población de Manaos, por ejemplo, ha alcanzado los dos millones de habitantes, lo que lleva consigo una intensificación de la contaminación del río Negro, uno de los principales afluentes.

Por otra parte, la construcción de megaproyectos hidroeléctricos, así como la creciente demanda de pesca y la deforestación, amenazan seriamente al ecosistema de toda la región, incluyendo los ríos andino-amazónicos que dan nacimiento al Amazonas.

2.2.1.1. Cuenca Hidrográfica del Amazonas

Dentro de la región amazónica se incluye la cuenca hidrográfica más grande del mundo, con un área superior a los 7 millones de km², que representa más del 40% del territorio sudamericano: la cuenca hidrográfica del Amazonas.

El sistema hidrográfico del Amazonas central occidental incluye también las cuencas de los ríos Amazonas-Solimoes, Putumayo, Napo, Ucayili, Marañon, Huallaga, y el Morona. En general, sus características son las siguientes:

- Pequeña pendiente
 - Grandes caudales
 - Fluctuaciones en el espejo de agua (entre 6 y 12 m)
 - Considerable transporte de sedimentos



Figura 2.6: Cuencas hidrográficas en la Amazonía (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)

Tales características, en combinación con los rasgos característicos de la región, especialmente hacia la selva, conforman unos cambios morfológicos por los cuales los ríos se comportan como divagantes. Esta situación hace que sea complicada la navegación de naves a partir de un cierto calado (normalmente mayor a 3 metros).

Concretamente, en Perú, el sistema fluvial amazónico comprende algo más de 14.000 km de longitud de ríos, considerándose navegables 6.000 km. En esta región es donde se forma el Amazonas, mediante la confluencia de los ríos Marañón y Ucayali, a unos 125 kilómetros aguas arriba de Iquitos. (Bara Neto et al., 2006)



Figura 2.7: El Río Amazonas y sus principales afluentes (Bara Neto et al., 2006)

2.2.1.2. Ciclo del Agua

La mayor parte del agua de la Amazonía se queda dentro de la Amazonía. Los vientos del este traen humedad procedente del océano hasta la selva que, gracias a su ciclo de transpiración, devuelve más de la mitad de la lluvia a la atmósfera – un ciclo que se repite más de cinco veces al año, desde el Atlántico hasta los Andes (National Geographic, 2015)

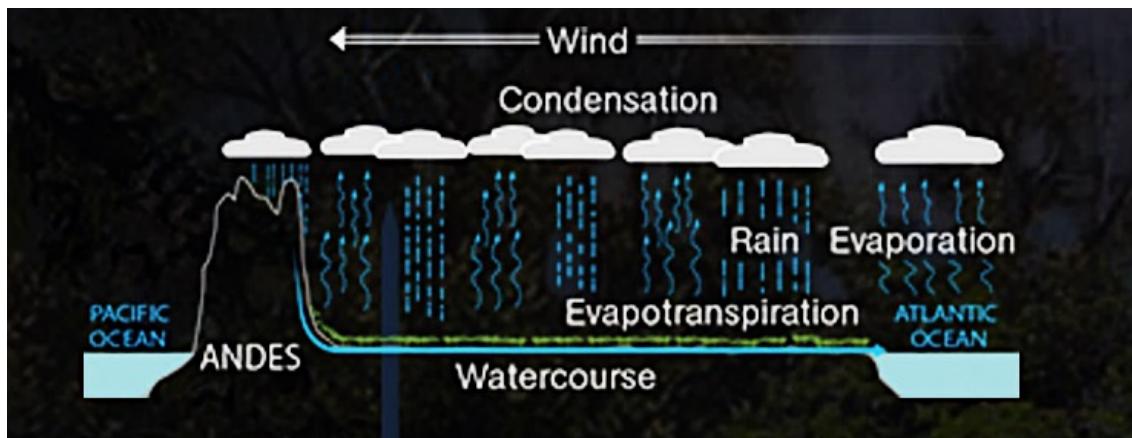


Figura 2.8: Ciclo del agua en la selva amazónica (National Geographic, 2015)

El proceso es el siguiente:

1. Las hojas del follaje recogen las gotas de lluvia protegiendo al suelo de la erosión.
2. Las gotas caen de las hojas a través de las ramas del árbol y acaban en el suelo.
3. El agua, así como los nutrientes procedentes de las hojas en descomposición, se absorben por el suelo y llegan hasta las raíces de los árboles. De ahí, se transmiten hacia las ramas y las hojas del árbol.
4. Mediante la transpiración de las hojas, el agua es devuelto a la atmósfera, donde el ciclo comienza de nuevo.

Durante la época húmeda, gran parte del Amazonas se inunda. Esto favorece las migraciones de muchos mamíferos y peces, y la distribución de las semillas.



Figura 2.9: Inundación de la selva durante la época húmeda (National Geographic, 2015)



Figura 2.10: Ciclo del agua en los árboles de la selva amazónica (National Geographic, 2012)

2.2.1.3. Usos del Agua

Según (FAO, 2016), la presión actual sobre los recursos hídricos del Amazonas es baja, como resultado de la gran disponibilidad de agua y la baja demanda, consecuencia de la baja densidad de población. Teniendo en cuenta una población de 28 millones de habitantes, los recursos per cápita serían equivalentes a 225.000 m³ al año, o 700.000 litros/día.

En Brasil, se utilizaron un total de 2.108 millones de m³ de agua provenientes del Amazonas en 2006, un 3,6% del total a nivel nacional. La agricultura y la ganadería fueron los principales consumidores (53% del total), seguidos de los municipios (33%) y la industria (14%). Por otro lado, en Perú se utilizaron 2.360 millones de m³ del Amazonas en 2008, lo que representó un 17% del total a nivel nacional. (Agência Nacional de Águas, 2009). En la sección 2.4.1 se puede encontrar más información sobre el impacto de la agricultura y la ganadería en la Amazonía.

Otro de los principales usos del río, como ya se ha mencionado, es el transporte. Para muchas de las regiones aisladas de la Amazonía, el río supone la única forma de transportar productos y personas. Aunque no todos los afluentes del Amazonas son navegables para barcos comerciales, se estima que aproximadamente 40.000 km podrían serlo (GIWA, 2004).

Por último, otro de los usos más importantes del Amazonas a día de hoy son las plantas hidroeléctricas, de las que se hablará más en detalle en la sección 2.4.2.



Figura 2.11: Embarcación local destinada al transporte de viajeros en el río Napo, afluente del Amazonas (Banco Interamericano de Desarrollo, 2010)



Figura 2.12: Embarcación destinada al transporte de mercancías en el río Napo, afluente del Amazonas (Banco Interamericano de Desarrollo, 2010)

2.2.2. Flora: La Selva Amazónica

La Cuenca Amazónica, con su enorme superficie y complejidad ecosistémica, es sin duda alguna la reserva biótica más importante del mundo. De las selvas tropicales que hay en el planeta, 2/3 partes se encuentran en la Región Amazónica (4% de la totalidad de la superficie emergida del planeta), lo que equivale aproximadamente al 70% de los bosques húmedos tropicales.



Figura 2.13: Mapa con los límites de la Amazonía según la cuenca del Río Amazonas (National Geographic, 2015)

De entre los 10 países del mundo con mayor cantidad de bosques tropicales por unidad de superficie, cinco están en territorio amazónico: Brasil (30,68% del total mundial), Perú (5,9%), Colombia (3,9%), Bolivia (3,79%) y Venezuela (2,74%), lo que representa más de 3.899.100 km². El resto de los 6.600.000 km² de bosques tropicales, se encuentra repartido entre un total de 68 países, incluidos Burma, Papua, Nueva Guinea, India e Indonesia.

El mosaico de ecosistemas de la Cuenca Amazónica es realmente sorprendente. Diferencias climáticas, relacionadas con variación pluviométrica, altitudinal, suelos y otros factores, hacen de esta una de las zonas con mayor diversidad biológica del planeta. De hecho, entre el 60 y 80% de todas las especies del orbe se encuentra en 8 o 10 países, entre los que se encuentran Brasil, Colombia, Ecuador y Perú.

Al menos 40 mil especies de plantas han sido identificadas en la Cuenca Amazónica. De ese total, 2 mil han sido clasificadas por su utilidad, como alimentos, medicinas y para otros fines.

2.2.2.1. Principales Tipos de Selva

Existen tres tipos principales de selva en la Amazonía:

- **Igapó (4%)**

Gracias a los ríos (normales y pantanosos) que atraviesan esta zona, el Igapó está continuamente lleno de vegetación, aunque está inundado la mayor parte del año. Algunas de las plantas se han adaptado y ahora tienen incluso raíces aéreas por encima de la línea de inundación. Otras continúan su fotosíntesis bajo el agua, a pesar de la poca luz disponible. Esta es la zona donde habitan los caimanes.

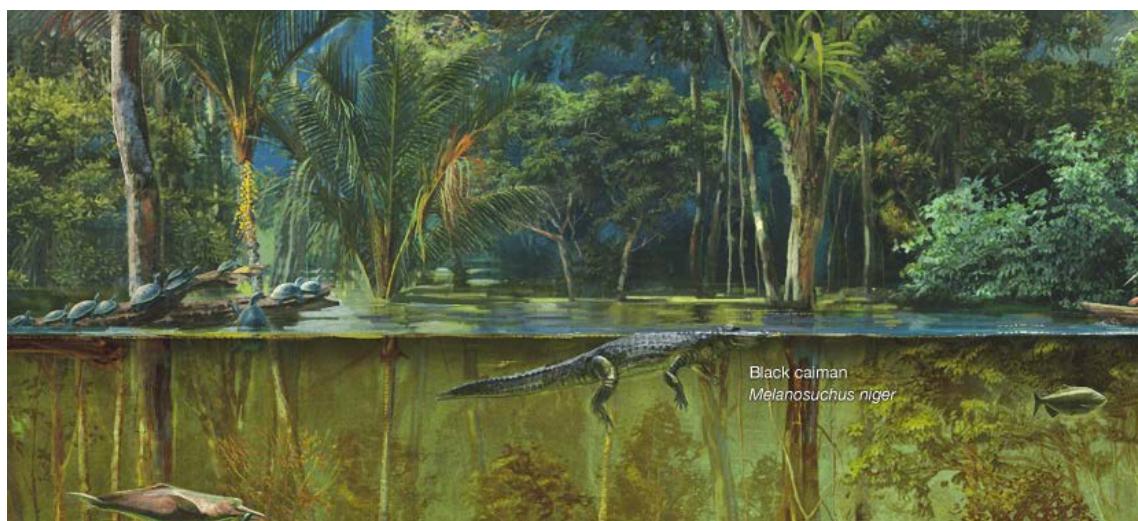


Figura 2.14: Igapó en la selva amazónica (National Geographic, 2015)

- **Várzea (6%)**

Los ríos claros inundan esta zona durante más de 230 días al año. Cuando el nivel del agua es alto, los sedimentos se acumulan, creando tierra fértil. Al ser una zona de muchos nutrientes, acoge a multitud de seres vivos.

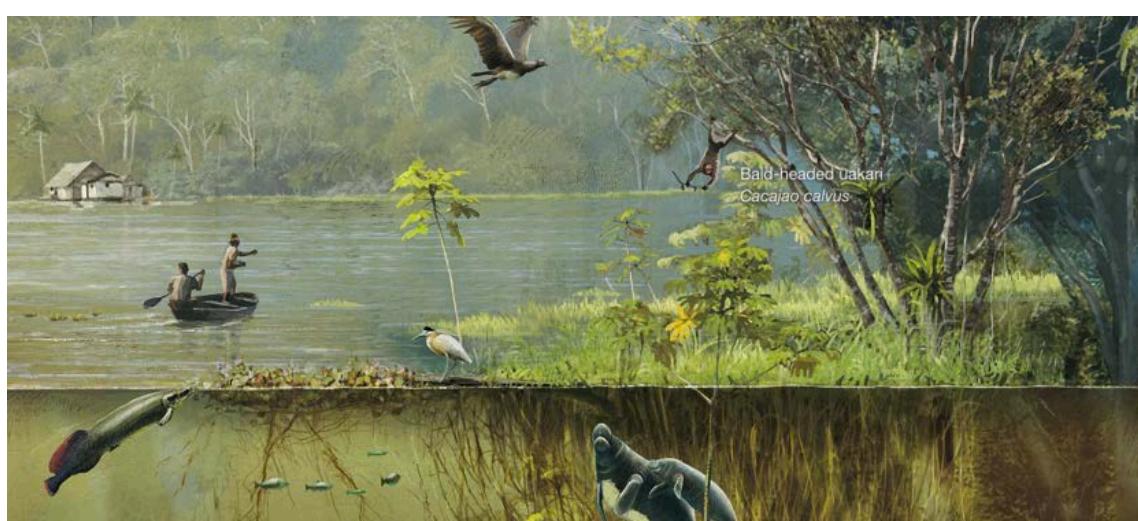


Figura 2.15: Várzea en la selva amazónica (National Geographic, 2015)

- *Terra Firme (70%)*

Al estar a mayor altitud, rara vez está inundada la zona. La terra firme acoge a multitud de seres vivos terrestres y a los árboles más altos de la selva.

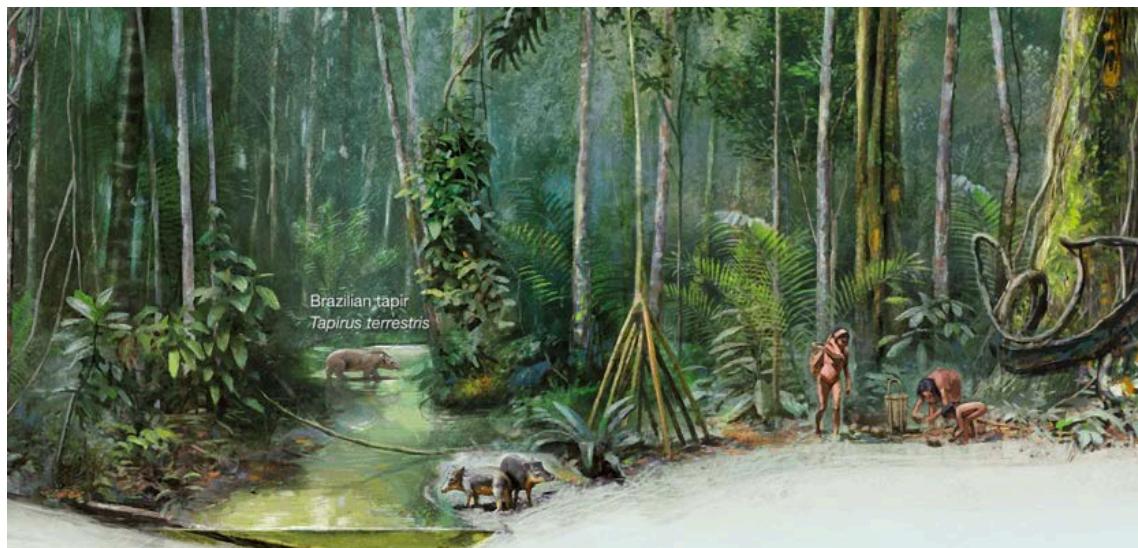


Figura 2.16: Terra Firme en la selva amazónica (National Geographic, 2015)

- *Otros (20%)*

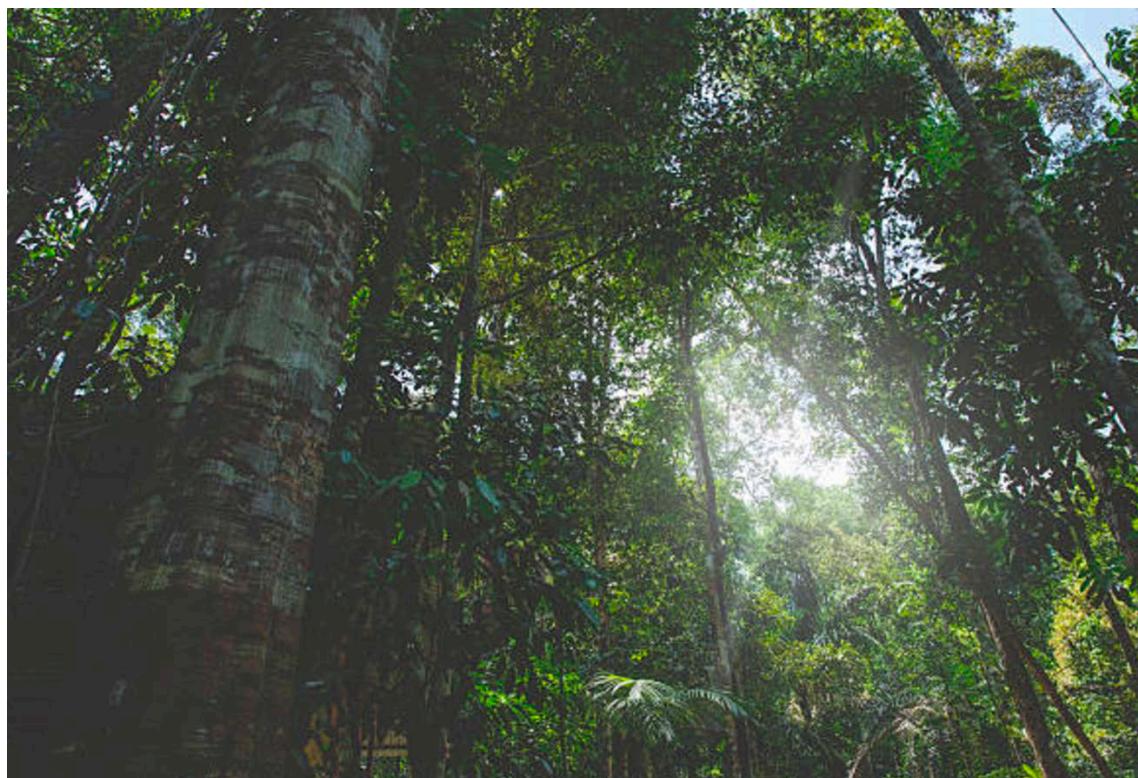


Figura 2.17: Selva amazónica en Brasil (Frazao Media - GettyImages)

2.2.3. Fauna: Biodiversidad de la Amazonía



Figura 2.18: Mono tamarín de cabeza dorada en la selva amazónica (Tom Applegate – GettyImages)

A pesar de contener un gran número de diferentes ecosistemas, la Amazonía funciona como una sola entidad ecológica, en la que todas sus partes se integran. Tan solo en Brasil, se puede encontrar casi el 14% de las especies vivas del planeta.

Major group (× 1,000)	World	Brazil		
	working figure	average	lower limit	upper limit
Virus	400	52.6	40.1	70.4
Monera	1,000	131.4	100.2	175.9
Fungi	1,500	197.1	150.3	263.9
Protozoa	200	26.3	20.0	35.2
Algae	400	52.6	40.1	70.4
Plantae ^b	320	51.5	48.5	54.5
Nematoda	400	52.6	40.1	70.4
Crustacea	150	19.7	15.0	26.4
Arachnida	750	98.5	75.2	132.0
Insects	8,000	1,051.0	801.8	1,407.6
Mollusca	200	26.3	20.0	35.2
Chordata ^c	50	7.9	7.2	8.8
others	250	32.8	25.1	44.0
total	13,620	1,800.3	1,383.6	2,394.7

Figura 2.19: Número de especies totales identificadas en el mundo y en Brasil (Lewinsohn & Prado, 2005)

A pesar de estas cifras, tan solo una pequeña parte de la enorme biodiversidad de la selva se conoce a día de hoy, y la lista de especies crece cada año. Estimaciones de

(Charity, Dudley, Oliveira, & Stolton, 2016) sugieren que tan solo se conoce el 90-95% de los mamíferos, aves y plantas, un 2-10% de los insectos, y un 30% de los peces.

Nuevos estudios sobre la biodiversidad de la región revelan continuamente nuevas especies anteriormente desconocidas, cada vez en regiones más remotas de la selva. Según un análisis de WWF, 2.200 nuevas especies de plantas y vertebrados se han descubierto desde 1999.



Figura 2.20: Nuevas especies descubiertas en la Amazonía entre 1999-2015 (Charity et al., 2016)

El jaguar, el tucán, la anaconda, el colibrí o el delfín rosa son tan solo algunas de las especies más icónicas de la región, y su conservación es crítica para mantener la integridad ecológica de la selva.



Figura 2.21: De izq. a dcha., delfín rosa, jaguar y tucán (20minutos, 2012)

El pasado mes de abril 2016, se descubrió en la costa de la Amazonía un impresionante arrecife de coral de casi 1.000 km de largo. El arrecife, que va desde la Guayana Francesa hasta el estado de Maranhao en Brasil, permitirá descubrir nuevas especies de corales y peces. (Carrington, 2017)



Figura 2.22: Arrecife de coral frente a la desembocadura del río Amazonas (Greenpeace, 2016)

2.3. Población

Los seres humanos han vivido en la Amazonía por más de 13 milenios. El primer asentamiento datado, hace más de 11.000 años, fue un campamento Paleo-indio en el noreste de Brasil llamado Caverna da Pedra Pintada. De ahí en adelante, se calcula, en base a investigaciones arqueológicas, etnohistóricas y etnográficas, que la Amazonía estuvo habitada por diferentes etnias indígenas, que alcanzaron distintos niveles de relación con el entorno y una muy variada complejidad sociocultural, que, a la llegada de los conquistadores, bien podría superar los 7 millones de habitantes.

La vida en la Amazonía cambió de forma dramática con la llegada de los europeos, y más tarde africanos y asiáticos. Con ellos llegaron nuevos asentamientos, explotaciones de recursos naturales, y también la esclavitud. En el último siglo, con la inmigración a gran escala, se disparó la demanda de la goma, relacionada con la industria automovilística, que inició la transformación moderna del Amazonas.

Los países amazónicos han sufrido un gran crecimiento de población en las últimas décadas, dando lugar a mayores asentamientos en la selva, lo que ha causado graves problemas de deforestación debido a la agricultura, la ganadería o la construcción de nueva infraestructura, como carreteras y presas hidroeléctricas.

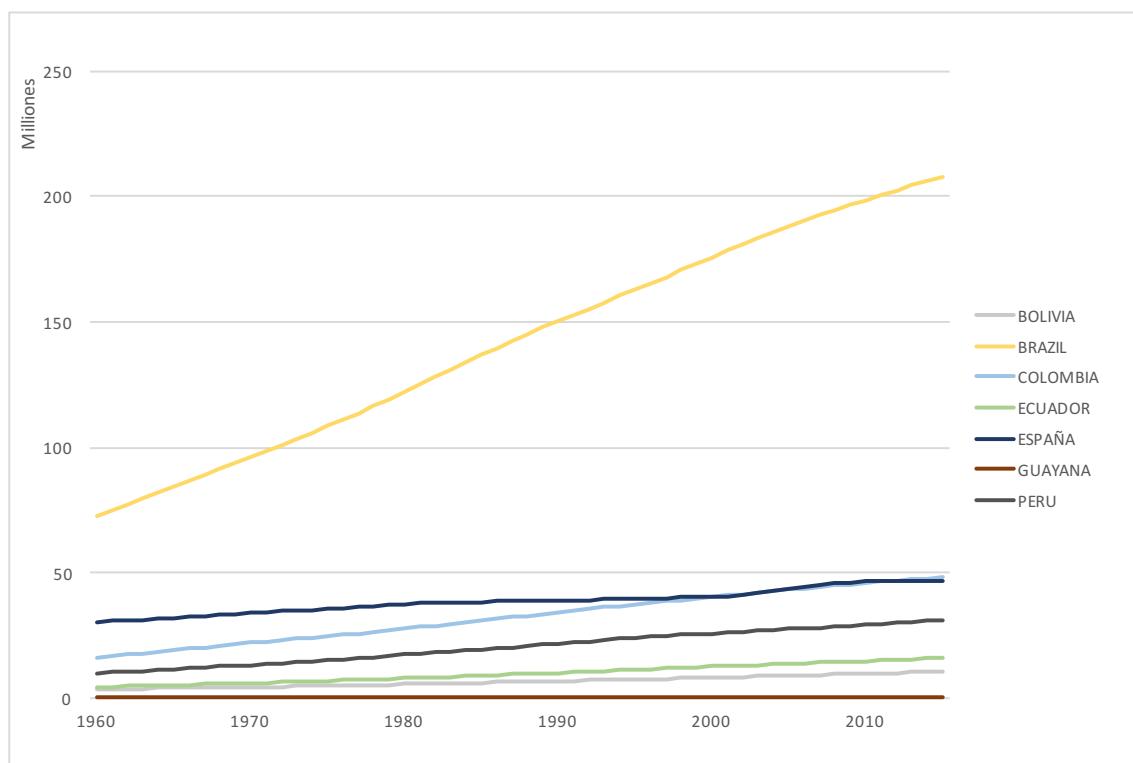


Figura 2.23: Crecimiento de la población en los países amazónicos entre 1960-2015 (World Bank, 2015)

En 2011, la población de la Amazonía se estimaba en 34 millones de personas, concentradas principalmente en Brasil (70%) y Perú (11%). La densidad de población media en la Amazonía (4,5 personas/km²) es un quinto de la media en América Latina.

Además, aunque antiguamente se relacionaba a la selva con poblaciones rurales aisladas, ahora el 65% de la población se concentra en ciudades como Manaos (Brasil) o Iquitos (Perú), entre otras.

2.3.1. Comunidades Indígenas

En la actualidad se estima que la población indígena ronda el millón de personas, con un total de 2.467 territorios, 420 etnias diferentes, y al menos 86 lenguas y 650 dialectos distintos. Al menos 60 pueblos viven en condición total de aislamiento.



Figura 2.24: Mujer indígena en la zona ecuatoriana del Amazonas (REPAM)

En el siguiente mapa se pueden observar los distintos territorios indígenas de la región sombreados en amarillo. Los puntos en marrón claro corresponden a poblaciones aisladas.



Figura 2.25: Mapa con los territorios indígenas, en amarillo, del Amazonas (National Geographic, 2015)

2.4. Impacto Humano

2.4.1. Deforestación



Figura 2.26: Deforestación causada por el incendio de Mato Grosso, que acabó con el 38% de la vegetación de la región (Rodrigo Baleia, 2017)

La deforestación de la Amazonía es el resultado de una serie de complejos cambios en los usos de la tierra. Sus causas principales son:

- Tala de madera para la producción de tablones, utilizada en suelos, muebles y otros artículos, y de papel
- Producción de energía eléctrica, en particular a través de plantas hidroeléctricas
- Minería
- Ganadería extensiva, que utiliza la técnica de tala-y-quema para despejar el terreno
- Agricultura, especialmente para la soja
- Construcción de infraestructura, como carreteras



Figura 2.27: Deforestación de la selva amazónica, en amarillo (National Geographic, 2015)

Los cambios en el uso del terreno de la selva tropical afectan gravemente al ecosistema de la zona y resultan en erosión, contaminación del agua, pérdida de fertilidad del suelo, emisiones de gases de efecto invernadero y problemas de salud para la población, debidos a la facilidad en la propagación de enfermedades como la malaria, entre otros.



Figura 2.28: Deforestación causada por la agricultura extensiva de soja en Mato Grosso (Rodrigo Baleia, 2017)



Figura 2.29: Deforestación causada por la cría de ganado en la Amazonía brasileña (Rodrigo Baleia, 2017)



Figura 2.30: Deforestación causada por los hornos de carbón vegetal en Maranhao, al noreste de Brasil (Rodrigo Baleia, 2017)

Según el Dr. Antonio Nombre, experto en cambio climático, la selva amazónica no solo es una fuente increíble de biodiversidad, sino que tiene un papel imprescindible en el enfriamiento del planeta, ya que sus árboles canalizan el calor a la atmósfera, y absorben gran parte de los gases de efecto invernadero que emitimos. Asegura que, si los niveles de deforestación continúan al ritmo actual, la región podría convertirse en una zona árida, incapaz de soportar su actividad eco sistémica. (National Geographic, 2016)



Figura 2.31: Deforestación asociada con la construcción de la autopista Inter-Oceánica, en Perú (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)

El proceso de deforestación comenzó en la década de los setenta, cuando se empezó a incitar la conquista y explotación de la zona. Numerosos programas de distintos gobiernos, entre ellos Ecuador, Perú y Brasil, exigían la deforestación de la selva tropical como prerrequisito para la asignación de nuevas tierras a la población rural. Durante los últimos 30 años, más de 70 millones de hectáreas de la selva tropical han sido deforestadas (9% del total), principalmente en Brasil, donde la deforestación es la causa del 70% de sus emisiones de gases de efecto invernadero.



Figura 2.32: Aserradero ilegal cerca de Río Pardo, Brasil (St. Fleur, 2015)

Las causas de la deforestación en cada país son distintas. En Brasil, se debe principalmente a la agricultura extensiva y a la actividad ganadera, mientras que en Bolivia y Colombia es debido a la conversión de la tierra en pequeñas granjas familiares. Se estima que más del 60% de la zona deforestada es inicialmente utilizada para fines ganaderos, para ser después utilizada en la producción agrícola.

En Perú, las causas principales de la deforestación son las actividades mineras, la producción de petróleo y la construcción de carreteras y oleoductos. En Ecuador, las exploraciones petrolíferas y la colonización son las principales causas de la deforestación. Asimismo, la expansión del cultivo ilegal de coca es otra de las principales razones detrás de la deforestación en Colombia, Bolivia y Perú.

En Guyana, Guyana Francesa y Surinam, la exportación de madera y la producción de biocombustibles son los principales causantes. Por otra parte, en Venezuela, la deforestación está asociada principalmente a la actividad minera ilegal y al turismo.

Durante el periodo 2000-2010, la selva se redujo en un 4.5% (aproximadamente 240.000 km²), el equivalente a casi la mitad de la Amazonía Colombiana.

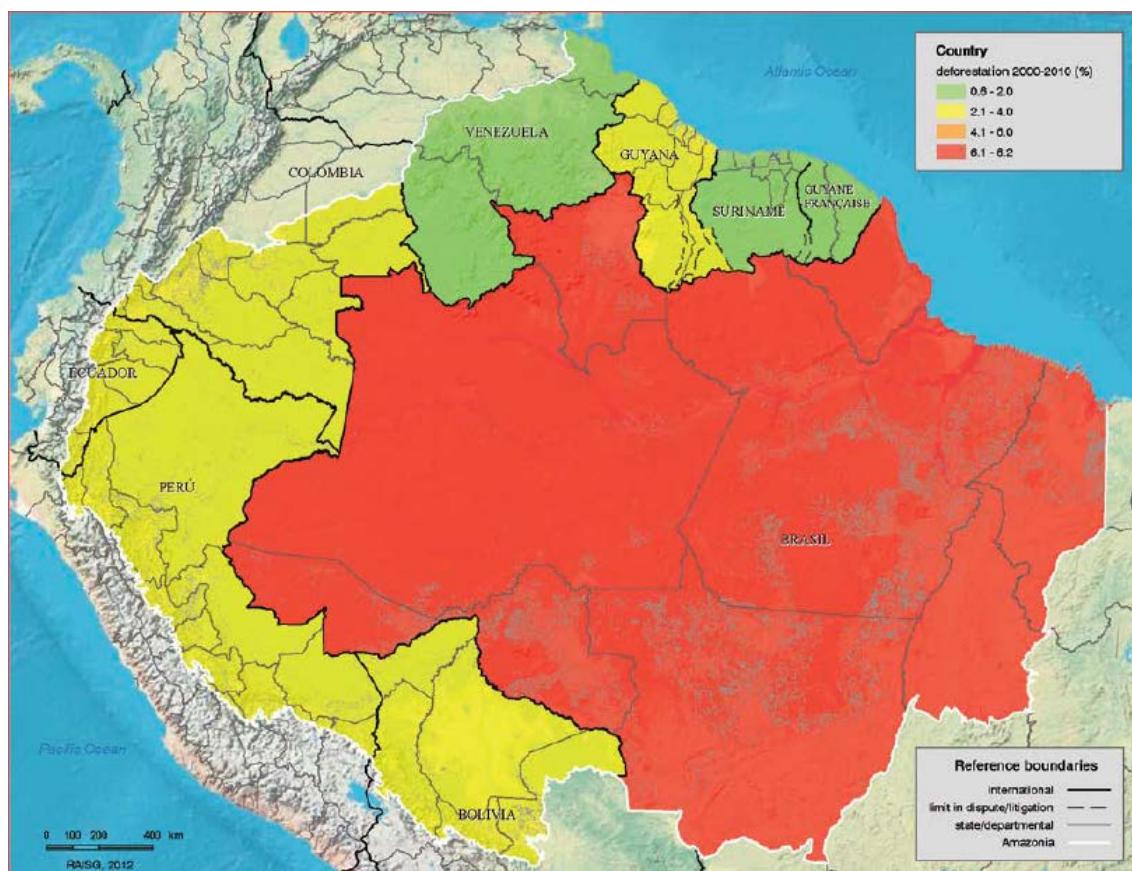


Figura 2.33: Proporción de la deforestación de la Amazonía entre 2000-2010, por país (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)

Country	Forest in 2000		Deforestation 2000-2005		Deforestation 2005-2010		Deforestation 2000-2010		% of total
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	
Bolivia	307,123	64.1	4,187	1.4	3,494	1.1	7,682	2.5	3.2
Brasil	3,110,668	62.1	138,804	4.5	54,181	1.7	192,985	6.2	80.4
Colombia	428,498	88.7	5,170	1.2	6,816	1.6	11,986	2.8	5.0
Ecuador	88,361	76.0	1,171	1.3	965	1.1	2,136	2.4	0.9
Guyana	140,411	65.3	1,800	1.3	1,488	1.1	3,288	2.3	1.4
Guyane Française	79,916	92.4	210	0.3	293	0.4	502	0.6	0.2
Perú	700,738	89.5	7,365	1.1	7,674	1.1	14,974	2.1	6.2
Suriname	130,719	79.8	938	0.7	191	0.1	1,130	0.9	0.5
Venezuela	370,567	81.6	3,375	0.9	1,820	0.5	5,195	1.4	2.2
Total	5,357,001	68.8	163,020	3.0	76,922	1.4	239,942	4.5	100.0

Figura 2.34: Deforestación de la Amazonía entre 2000-2010, por país (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)

Nuevas investigaciones aseguran que la región amazónica podría perder más de la mitad de sus especies de árboles antes de 2050 debido a la deforestación. Entre el 36 y el 57% de las más de 15.000 especies de árboles deberían ser consideradas en peligro de extinción. (Platt, 2015)



Figura 2.35: Deforestación en Xapuri, al noroeste de Brasil (Yasuyoshi Chiba, Agence France-Presse, 2015)

2.4.2. Plantas Hidroeléctricas



Figura 2.36; Presa Tucuruí, Brasil (Ricardo Lima - Getty Images)

La cuenca del río Amazonas es vista por gobiernos, compañías, inversores y consumidores como una fuente formidable de producción energética. Esto se debe principalmente a dos hechos:

- El suministro de energía eléctrica actual proveniente de la Amazonía hacia los países de la región es más del 75% del total en Perú, Bolivia y Ecuador.
- Gran potencial para las instalaciones de gran capacidad en la zona Andino-Amazónica, así como para la explotación hidroeléctrica del río Amazonas.

El gran potencial hidroeléctrico del río proporciona la posibilidad de obtener electricidad barata sin necesidad de recurrir a los combustibles fósiles o a la energía nuclear, y al mismo tiempo, presenta una oportunidad de alcanzar altos niveles de sostenibilidad en el suministro en los países.

En Ecuador, por ejemplo, el gobierno presenta la implementación del proyecto Coca Codo Sinclair como una posibilidad de hacer el país energéticamente más independiente, revirtiendo la compra actual de energía a Colombia y Perú (más del 10% del total) en la estación seca, e incluso planteándose la posibilidad de vender energía a estos mismos países.

De la misma forma, el acuerdo energético entre Perú y Brasil para la producción y exportación de electricidad en la frontera de Perú (el megaproyecto Inambari y otros), se justifica con el incremento anual de la demanda en estos países. En 2009, el gobierno peruano autorizó a Brasil a financiar, construir y operar seis plantas hidroeléctricas en la zona de selva tropical del este de los Andes, con el claro objetivo de vender electricidad a Brasil para cubrir sus necesidades energéticas.

En 2012, la base de datos del RAISG contenía información de 417 plantas hidroeléctricas, de las cuales 171 están actualmente en operación o en construcción, y 246 se han incluido en los planes energéticos nacionales a futuro. La mayor parte de estas plantas está situada en el sur de la Amazonía, seguido de las regiones este y oeste. Cuando las plantas en construcción se terminen, la mayor parte de los recursos hídricos de la Amazonía estará dedicada a la generación eléctrica.

Country	Planned			Actual			Total
	PCH	UHE	total	PCH	UHE	total	
Brasil	176	55	231	87	22	109	340
Perú	2	9	11	31	2	33	44
Bolivia	1	3	4	1	9	10	14
Ecuador					10	10	10
Venezuela					6	6	6
Colombia				1		1	1
Guyane Française					1	1	1
Suriname					1	1	1
General total	179	67	246	120	51	171	417

Figura 2.37: Cantidad de plantas hidroeléctricas por país en la Amazonía, por tipo y fase (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)

Existen 12 plantas con una capacidad superior a los 300 MW (siete en operación y cinco en construcción). La planta en operación más importante es la de Guri, situada en Venezuela, que cuenta con una capacidad de 10.325 MW; mientras que Belo Monte, en Brasil, es la planta en construcción con la mayor capacidad (11.233MW).

Country	Name	Capacity (MW)	Sub-basin
Operational			
Venezuela	Guri	10,325	Caroní
Brasil	Tucuruí I e II	8,370	Tocantins
Venezuela	Tocoma	2,260	Caroní
Venezuela	Macagua I	2,190	Caroní
Venezuela	Caruachi	2,160	Caroní
Brasil	Lajeado (L.E.Magalhães)	902	Tocantins
Brasil	Peixe Angical	452	Tocantins
Under Construction			
Brasil	Belo Monte	11,233	Xingú
Brasil	Santo Antônio	3,150	Madeira
Ecuador	Coca Codo Sinclair	1,500	Napo
Brasil	Estreito	1,087	Tocantins
Ecuador	Sopladora	487	Pastaza

Figura 2.38: Plantas hidroeléctricas con una capacidad superior a los 300 MW en la Amazonía (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)



Figura 2.39: Vista de la construcción de la planta de Belo Monte, Pará, Brasil

Aunque la construcción de estas plantas está ligada al desarrollo nacional de los países amazónicos, su impacto socio-ambiental no ha sido tenido en cuenta de la forma adecuada. (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012). La construcción de plantas en zonas transfronterizas como Jirau y Santo Antônio, en Brasil, que son compartidas por Brasil y Bolivia, requiere evaluaciones estratégicas a nivel de la situación hídrica local, que no han sido llevadas a cabo y pueden dañar el ecosistema de estos países de forma permanente.

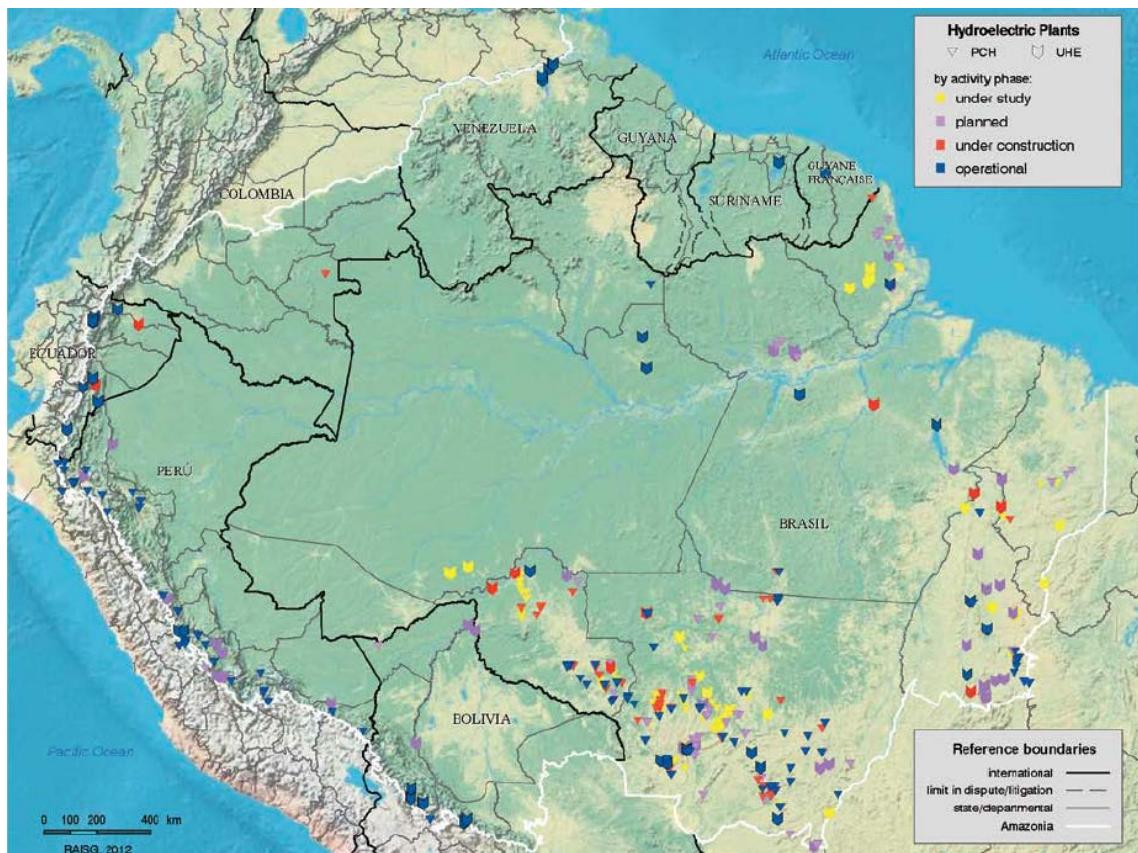


Figura 2.40: Plantas hidroeléctricas en la Amazonía, por tipo y fase (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)

De hecho, cada vez es más complicado aprobar proyectos de nuevas plantas hidroeléctricas. Sin ir más lejos, Ibama, la agencia medioambiental brasileña, tuvo que paralizar en abril 2016 el proceso de licitación de la presa de São Luiz do Tapajó debido a su preocupación por el impacto sobre la comunidad indígena colindante, los Munduruku. (Douglas, 2016)

Según expresaba uno de los líderes de una “Caravana de Resistencia” contra Tapajó recientemente: “El gobierno construye presas sin completar los estudios medioambientales, sin tratar de entender las consecuencias que la destrucción de la naturaleza tiene en nuestras vidas. Autoriza la operación de presas sin dar respuesta a las comunidades indígenas y las deja sin peces, sin agua y sin caza, mientras intenta esconder el impacto negativo que tiene en nuestras vidas, nuestros ríos y nuestros territorios”. (Jonathan Watts, 2016)



Figura 2.41: Miembros de la tribu Munduruku durante una "Caravana de Resistencia" contra Tapajó en 2015 (Mario Tama – Getty Images)

No es la primera vez que las poblaciones indígenas expresan su preocupación por la construcción de presas hidroeléctricas en la Amazonía. Con la reciente puesta en operación de la presa Belo Monte en 2016, los indígenas de la región han perdido una batalla de más de 30 años. Aunque los promotores del proyecto aseguran que la región inundada es muy pequeña en comparación con otras presas hidroeléctricas de Brasil, las tribus se quejan de pérdida de caudal del río, y aseguran que el impacto tendrá consecuencias en un radio de más de 500 km.



Figura 2.42: Protestas indígenas contra Belo Monte (Lunae Parracho, 2013)

Según Jaimie Juraszek, superintendente de Norte Energía, empresa responsable de Belo Monte, “este es el precio a pagar para preservar el medio ambiente. No podemos salvar la selva y vivir en la oscuridad sin TV. Hay un conflicto de intereses aquí. Necesitamos un equilibrio. Creo que Belo Monte es un buen compromiso” (Watts, 2014)

Hay que tener en cuenta que Brasil ha experimentado un notable crecimiento en el consumo eléctrico per cápita durante los últimos 50 años, más de un 400%, y que ha aumentado considerablemente el acceso eléctrico de su población, de 90% en 1990 al 99% en 2012. Además, no es el único país de la región que ha sufrido cambios trascendentales. Venezuela, por ejemplo, lleva aumentando su consumo per cápita por encima de la media mundial desde antes de 1980.

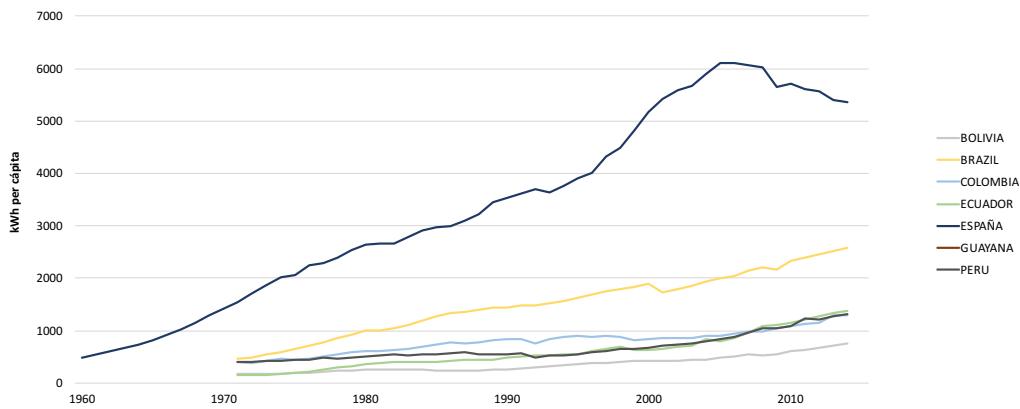


Figura 2.43: Evolución del consumo energético per cápita en los países amazónicos 1960-2015 (World Bank, 2015)

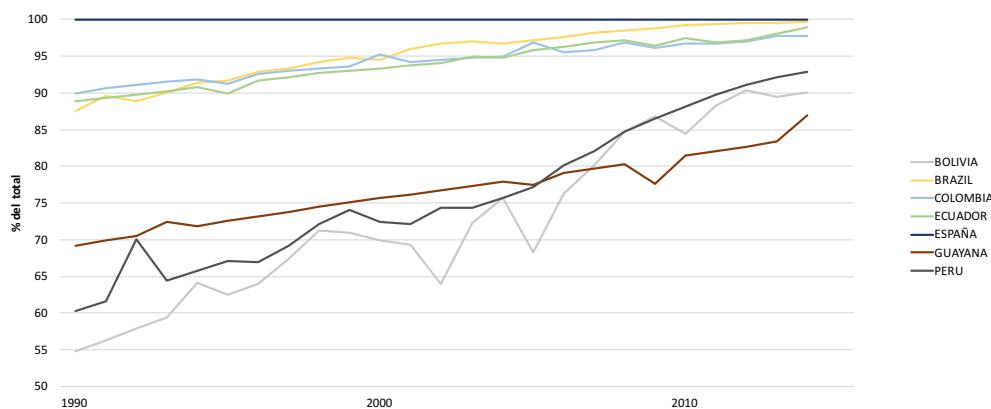


Figure 2.1: Evolución del acceso eléctrico total en los países amazónicos 1990-2015 (World Bank, 2015)

Para poder hacer frente a esta situación, es necesario aumentar la capacidad de generación eléctrica de la región. Muchos gobiernos han optado por estrategias basadas en la energía hidráulica, permitiendo que estos países se sitúen entre aquellos que más renovables utilizan en su matriz energética, si se tiene en cuenta la energía hidráulica como renovable, muy por encima de otros como España, salvando las diferencias en el potencial hidroeléctrico.

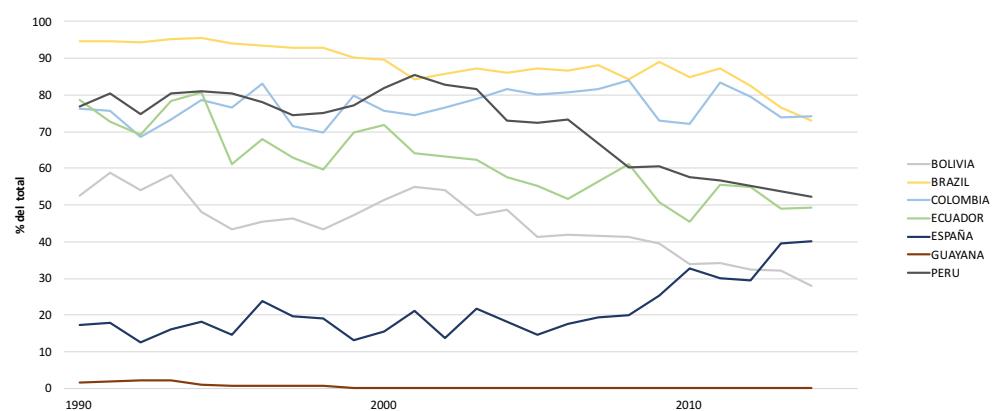


Figura 2.44: Evolución del porcentaje de producción mediante renovables (incluyendo hidráulica) en los países amazónicos 1990-2015 (World Bank, 2015)

2.4.3. Petróleo y Gas

La creciente demanda de los combustibles fósiles a nivel global, así como su alto precio, ha estimulado las actividades de prospección y extracción en la Amazonía hasta niveles sin precedentes (Finner et al., 2008).

Los países amazónicos ven el gas y el petróleo como recursos estratégicos y exigen que se les reconozcan sus derechos de propiedad a nivel constitucional. Los gobiernos normalmente asignan estos recursos a través de políticas que no suelen tener en cuenta la prevención y mitigación del impacto socio-medioambiental ocasionado, ni las inversiones necesarias para compensarlo.

Entre las principales consecuencias de las actividades de prospección y extracción se encuentran: alteraciones en la calidad del agua y el aire, contaminación del suelo, destrucción del hábitat, cambio en las propiedades del suelo, erosión, cambios en el comportamiento y distribución de las especies e introducción de enfermedades para la población.



Figura 2.45: Actividades extractivas llevadas a cabo en Ecuador por la petrolera Río Napo (Agencia Pública de Noticias de Ecuador y Sudamérica, 2013)

La extracción del petróleo y el gas tiene lugar dentro de un marco regulatorio y político que no incorpora límites ni salvaguardias para proteger la diversidad socio-medioambiental. En términos generales, las políticas no cuentan con los instrumentos de planificación necesarios para consolidar e incluir la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales. Esta situación no cumple con las obligaciones establecidas en la Convención 169 del ILO (1991) – ratificado por todos los países amazónicos excepto Guyana, Guyana Francesa y Surinam- y la Convención de Diversidad Biológica, ratificada por todos los países. (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)

En la actualidad, existen 327 bloques de hidrocarburos en la Amazonía, que cubren un total de 1.082.704 km² (14% de la superficie total de la región). De estos, 81 se encuentran actualmente en explotación.

Country	Open for bidding	Under tender	Under exploration	Under production	Total	Amazon area (km ²)
Perú	253,447	133,336	262,385	10,770	659,837	782,820
Colombia	170,003		21,367	2,044	193,414	483,164
Brasil			126,843	1,019	127,862	5,006,318
Bolivia	53,837		17,879	1,500	73,215	479,264
Ecuador				24,957	24,957	116,284
Venezuela		2,892		427	3,319	453,915
Total	477,286	136,228	428,473	40,717	1,082,704	7,321,763

Figura 2.46: Superficie de los bloques de gas y petróleo en la Amazonía, en km² (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)

El 80% (263) de los bloques se encuentra en la zona de los Andes, principalmente en Colombia (102) y Perú (92). Debería recalarse que esta región contiene casi la mitad de la población indígena, incluyendo aquellos que aún viven aislados, la mitad de los recursos hídricos y la mayor biodiversidad por unidad de superficie.

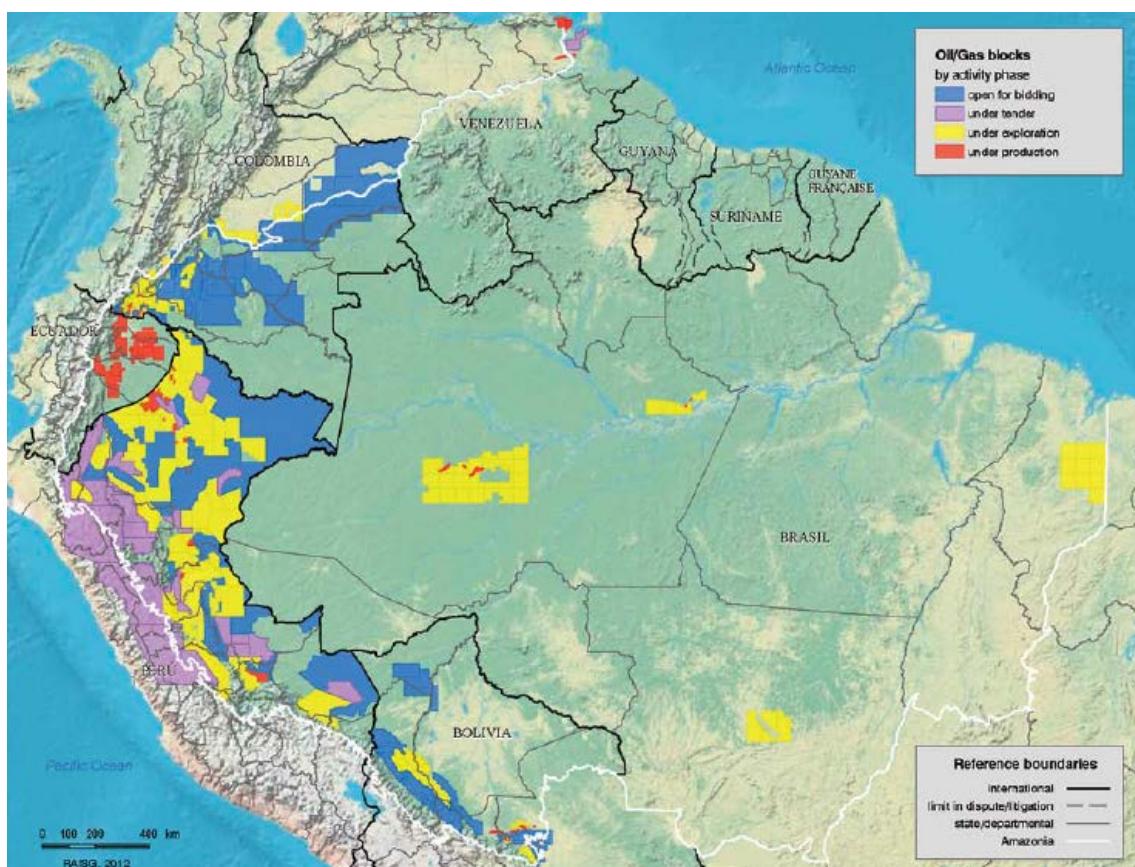


Figura 2.47: Bloques de gas/petróleo en la Amazonía (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)

Al menos 17 petroleras diferentes operan en la región. De estas, 20 compañías públicas y privadas operan el 60% de la superficie delimitada mediante concesiones (648.000 km²). Entre las mayores concesiones están: Pluspetrol (Argentina) con 8.826 km² en Perú, Petroamazonas EP (Ecuador) con 4.785 km² en Ecuador, Perenco (Anglo-Francesa) con 4.616 km² en Ecuador, y Petroriental (China) con 3.197 km² en Ecuador.

1	Agencia Nacional de Hidrocarburos	87,624	Colombia	Open for bidding
2	Petrobras	72,131	Bolivia, Brasil, Colombia, Perú	Open for bidding, under exploration, under production
3	Talismán	54,248	Colombia, Perú	Open for bidding, under exploration
4	YPFB Petroandina	53,837	Bolivia	Open for bidding
5	Upland Oil & Gas	37,080	Perú	Under tender
6	Pluspetrol	36,864	Colombia, Perú	Open for bidding, under exploration, under production
7	Petron Resources	29,441	Perú	Under tender
8	Burlington	29,197	Ecuador, Perú	Under exploration, under production
9	OGX Petróleo e Gás Ltda,	28,744	Brasil	Under exploration
10	Petra Energía S/A	26,719	Brasil	Under exploration
11	CEPSA	25,748	Perú	Under exploration
12	REPSOL-YPF	24,582	Bolivia, Ecuador, Perú	Under exploration, under production
13	Pacific Stratus Energy	24,112	Colombia, Perú	Under exploration
14	M&S Brasil S.A.	23,184	Brasil	Under exploration
15	BHP Billiton Petroleum	19,668	Colombia	Open for bidding
16	Hunt Oil	18,695	Perú	Under exploration
17	Petrolifera	16,640	Perú	Under exploration
18	GranTierra Energy	14,671	Colombia, Perú	Under exploration, under production
19	Ecopetrol S.A.	14,228	Colombia	Open for bidding, under exploration, under production
20	Petrominerales	10,926	Colombia, Perú	Under exploration

Figura 2.48: Compañías con bloques de gas/petróleo con más de 10.000 km² (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)

A veces las compañías petroleras operan virtualmente sin ningún control del gobierno sobre el impacto socio-medioambiental, causando impactos negativos y presiones que empeoran la fragilidad del ecosistema amazónico. La contaminación generada por los inevitables vertidos y los desechos tóxicos causan daños irreparables a la salud de los habitantes locales y al hábitat natural. Por otro lado, la construcción de carreteras, oleoductos/gaseoductos y otras infraestructuras asociadas empeora la degradación del entorno.



Figura 2.49: Vertidos de un gaseoducto en los ríos Santa Rosa, Quijos y Coca, en Ecuador (Juan Calles, 2009)

Por otra parte, el 13% de los bloques (273.801 km^2) se solapa con territorios indígenas. La situación es especialmente crítica en Perú, donde el solapamiento es del 66.3%.

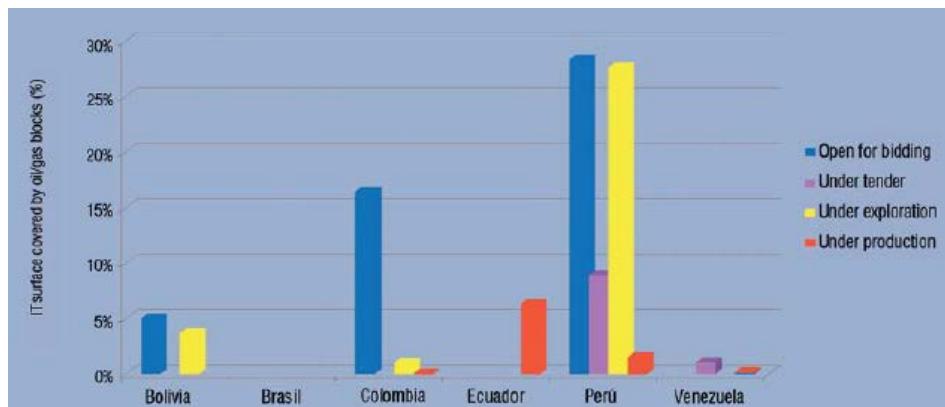


Figura 2.50: Proporción de los territorios indígenas cubierta por bloques de petróleo y gas (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)

Asimismo, la oposición de los indígenas y ecologistas a las actividades de hidrocarburos es cada vez más común. Al mismo tiempo, las entidades judiciales a nivel nacional e internacional empiezan a mostrar cada vez más apoyo hacia los derechos indígenas y la protección del medio ambiente.

El pasado mes de diciembre, por ejemplo, la federación indígena FENAP se opuso al recién aprobado plan de extracción de la petrolera GeoPark en la Amazonía peruana, que contaba con unas reservas de 40m de barriles de petróleo. Según decía el líder de la federación, Jeremias Petsein, la contaminación procedente de la extracción del petróleo “es una realidad para otras comunidades indígenas, hace enfermar a la gente y destruye su modo de vida”. (Reuters, 2016)



Figura 2.51: Vertido de crudo en la Amazonía peruana (Rodrigo Buendía – Getty Images, 2016)

El contexto económico actual plantea un dilema para el desarrollo de los países amazónicos: por una parte, la necesidad de erradicar la pobreza y el hambre, por otra, la necesidad de conservar la Amazonía como un gran ecosistema que contribuye al bienestar de los habitantes de todo el planeta.

2.4.4. Minería

Desde la conquista Europea de la Amazonía, ha existido una búsqueda continua de “El Dorado”, promovida por las historias sobre la gran riqueza mineral de la región. Durante siglos, la minería se centró en la búsqueda de oro y plata en la región Andina. Durante el siglo XX, con el descubrimiento de enormes depósitos minerales, como el de Serra dos Carajás, en Brasil, la actividad minera empezó a desarrollarse rápidamente, cubriendo gran parte de la región.

El incremento del precio de minerales preciosos y de la demanda de minerales estratégicos (aluminio, hierro, titanio, y otros), aumentó el interés de los países por generar ingresos a través de los recursos naturales de la Amazonía, lo que convirtió la minería en una de las principales causas del crecimiento económico.

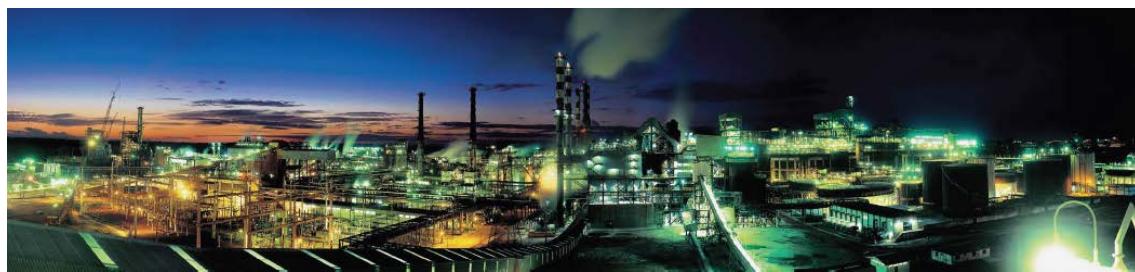


Figura 2.52: Alunorte, la refinería de aluminio más grande del mundo, Pará, Brasil (Paulo Santos, 2006)

En 2010, había un total de 52.974 bloques en la Amazonía con intereses mineros, cubriendo un área de aproximadamente 1.628.000 km², lo que corresponde al 21% de la región. La mayoría de estos bloques está en proceso de aprobación (50,8%), seguido de aquellos en fase de exploración (30,8%).

Country	Quantity of mining blocks		Surface area of mining blocks		Participation in the total
	number of blocks	%	Area (km ²)	% of Amazonia	
Bolivia	485	0.9	3,734	0.8	0.0
Brasil	42,623	80.5	1,349.207	27.0	17.3
Colombia	1,563	3.0	50,192	10.4	0.6
Ecuador	791	1.5	4,840	4.2	0.1
Guyana	743	1.4	145,069	67.5	1.9
Perú	5,812	11.0	22,587	2.9	0.3
Suriname	11	0.0	30,419	18.6	0.4
Venezuela	946	1.8	22,803	5.0	0.3
Total	52,974	100	1,628.850	20.9	20.9

Figura 2.53: Cantidad y superficie de los bloques mineros en la Amazonía, por país (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)

Algunos de los proyectos mineros más importantes de la Amazonía son: la región Madre de Dios en la frontera de Perú con Bolivia; las provincias de Morona Santiago y Zamora Chinchipe en el sudeste de Ecuador; la región de bauxita operada por Bosai en Guyana; el proyecto de extracción de hierro de Carajás, la mina de estaño de Pitinga, y el proyecto de bauxita de Juruti, las tres en Brasil.



Figura 2.54: Principales proyectos mineros en la Amazonía (Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information, 2012)



Figura 2.55: La mina abierta de hierro más grande del mundo, Carajás, Brasil (Pedro Martinelli, 1996)

En la actualidad, el 37% de las zonas protegidas de los países está afectada por la minería ilegal. Esta situación es particularmente notable en la zona oeste (Madre de Dios, Perú), en las Guyana, y en el territorio Yanomami (Brasil y Venezuela). En Madre de Dios, la tasa de deforestación relacionada con la minería de oro a pequeña escala ha aumentado de 292 ha/año en 2003 hasta 1.915 ha/año en 2009. En Guyana, un estudio llevado a cabo por WWF en 2012 desveló que la deforestación causada por la minería de oro se triplicó entre 2001 y 2008, destruyendo 650 km² de selva. Asimismo, la contaminación asociada con la minería de oro afectó a más de 26.000 km de ríos en 2008.



Figura 2.56: Mina ilegal de oro en Madre de Dios, Perú (Thomas Müller, 2010)

El porcentaje que suponen los recursos minerales dentro de las exportaciones totales de los países amazónicos es especialmente llamativo en el caso de Perú (28.6%), Guyana (17%) y Brasil (10.7%), que se encuentran por encima de la media mundial (4.4%).

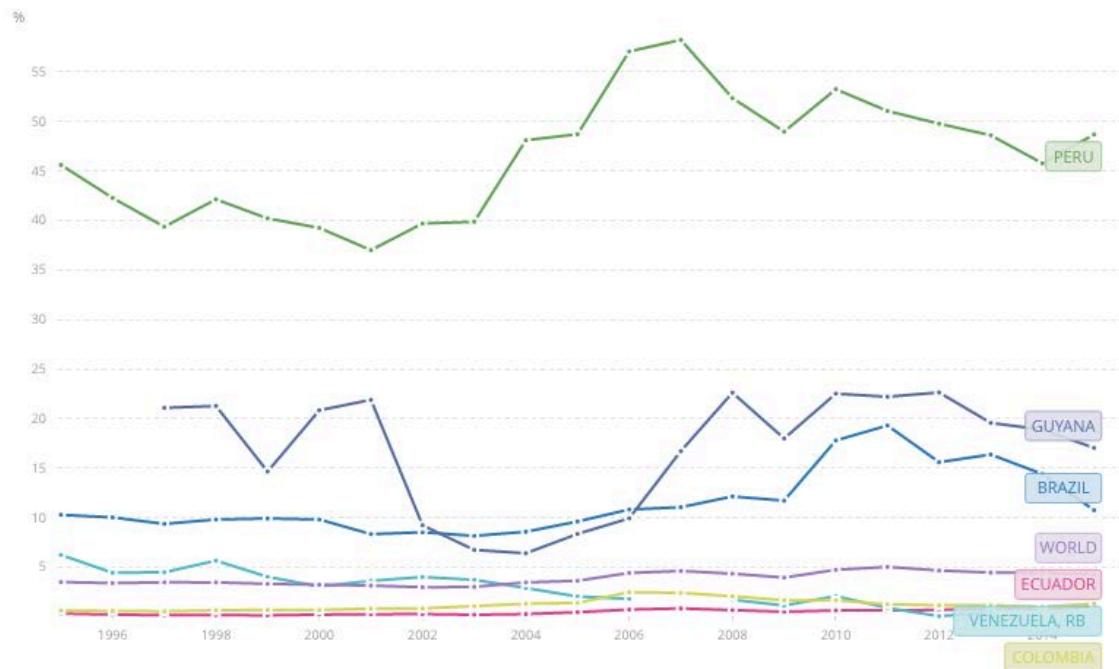


Figura 2.57: Exportaciones minerales dentro de las exportaciones totales de los países amazónicos, en porcentaje (World Bank, 2015)

La realidad es que, a día de hoy, el PIB de muchos de los países amazónicos depende en gran medida de sus exportaciones de recursos naturales, incluyendo petróleo, carbón, minería y madera. Es especialmente notable el caso de Guyana, con un 18.47%, Venezuela, con un 15.25% y Perú, con 6.29%.

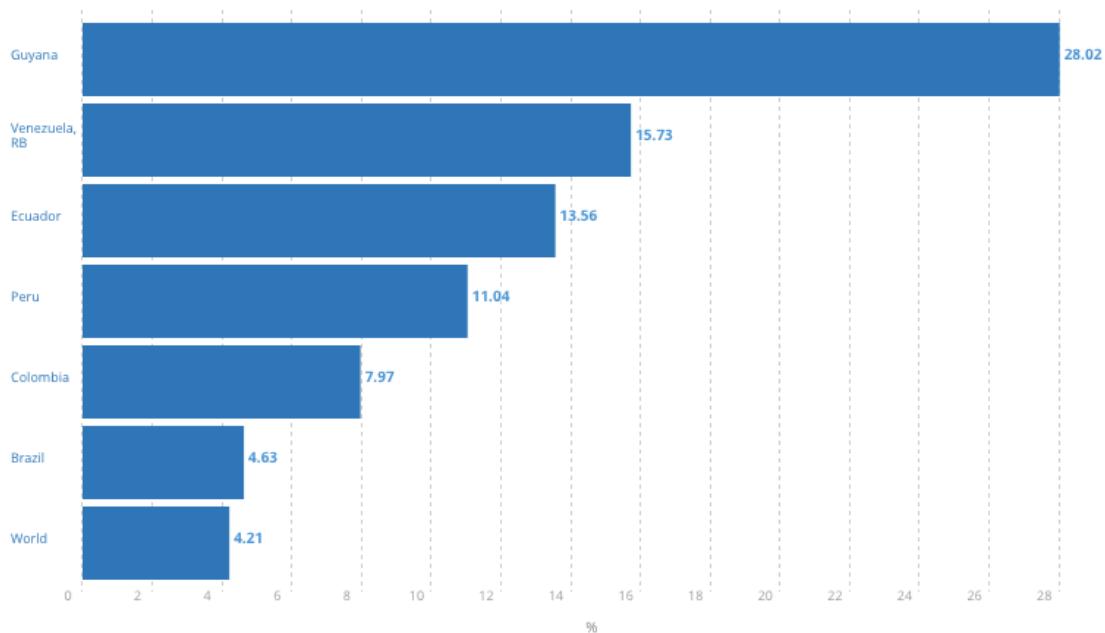


Figura 2.58: Porcentaje del PIB de los países amazónicos derivado de las exportaciones de recursos naturales (World Bank, 2012)

Es razonable pensar que dichas exportaciones han sido una de las causas más importantes en el crecimiento del PIB per cápita de estos países durante los últimos 20 años, y han permitido que estas economías alcancen la media global.

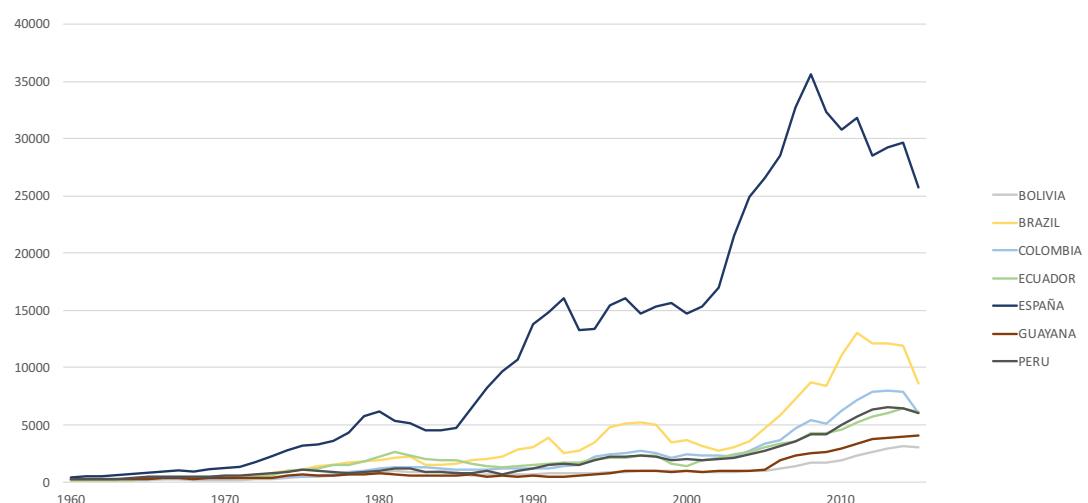


Figura 2.59: Evolución del PIB per cápita en los países amazónicos 1960-2015 (World Bank, 2015)

2.5. Marco Conceptual de la Sostenibilidad

La siguiente sección se basa en los conceptos aprendidos en la asignatura “Ingeniería y Desarrollo Sostenible” de la Universidad Pontificia Comillas, especialmente en aquellos desarrollados para la parte de Sostenibilidad por Linares, Conchado y Romero en 2015.

2.5.1. Dificultades en la Definición de Sostenibilidad

La comunidad científica ha tenido que realizar verdaderos esfuerzos para dar un significado preciso al concepto de sostenibilidad, tal como ilustra la siguiente cita del Dr. John Pezzey, profesor de la Universidad Nacional de Australia (ANU) centrado en la teoría de la sostenibilidad y su relación con la política medioambiental:

“A temptation when writing on defining sustainability is to try to distill, from the myriad debates, a single definition which commands the widest possible academic consent. However, several years spent in fitful pursuit of this goal have finally persuaded me that it is an alchemist’s dream, no more likely to be found than an elixir to prolong life indefinitely”.

Inicialmente, el concepto de sostenibilidad estaba centrado en la economía, y se refería a la posibilidad de mantener un crecimiento indefinido. Posteriormente, se incluyeron los recursos naturales en la definición, pasando por la teoría de sistemas (Meadows et al., 1972) o la economía ecológica (Daly, 1990), y finalmente se extendió el concepto hacia el campo de la sociología y las ciencias políticas.

Algunas de las definiciones de sostenibilidad (o desarrollo sostenible) más conocidas, en su versión original en inglés, se recogen a continuación:

- “Development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs” ((World Comission on Environment and Development, 1987), más conocido como Informe Brundtland)
- “Maximum amount of resources that a person can consume in a period and still be as well off at the end of the period as s/he was at the beginning”. ((Hicks, 1950), refiriéndose a la renta sostenible)
- "...requires the increase in moral knowledge or ethical capital of mankind." (Daly, 1987)
- “What do we owe future generations, and how can we reconcile that with what we owe the poorest among us today.”(Vaitheeswaran, 2002)
- “Sustainable development is about enhancing human well-being through time. The poor and disempowered must have much greater access to assets if growth is to be sustainable and the world is to avoid social unrest” (World Bank, 2003)
- “Sustainable development...[is] the process of building equitable, productive and participatory structures to increase the economic empowerment of communities and their surrounding regions”. (Interfaith Center on Corporate Responsibility, ICCR)

Actualmente se tiende a plantear las distintas definiciones de sostenibilidad como un conjunto de medios, en lugar de objetivos. Se dice que la sostenibilidad consiste en aumentar el grado de autoregulación, o “mantener la capacidad de coevolución adaptativa”, o crear sistemas viables (Beer, 1984), o concentrarse en las comunidades locales, el “small is beautiful” de (Schumacher, 1989), los principios de (Daly, 1990), o promover el comportamiento altruista, entre otros ejemplos.

Según Linares, Conchado y Romero, existen algunas deficiencias en las definiciones existentes:

- Algunas son demasiado limitadas: como la crisis actual muestra bien, sostenibilidad no es (solo) el respeto por el medio ambiente, o la RSC
- Otras, como las basadas en parámetros termodinámicos como la exergía o la emergía, son enormemente flexibles y sólidas, pero no incluyen componentes no asociados a recursos físicos o lo hacen con dificultades
- Las que se centran más en los medios que en los fines tienen dos problemas: los medios no siempre nos llevan al sitio que queremos; aunque nos lleven, pueden no ser suficientes.

A continuación, se intentará definir el concepto de sostenibilidad. Primero se identificarán sus componentes fundamentales, para después integrarlos en un marco conceptual que permita evaluarla dentro de todo tipo de situaciones, especialmente la que concierne al presente proyecto.

2.5.2. Objetivos de la Sostenibilidad

Existen dos posturas extremas dependiendo del objetivo de la sostenibilidad: el antropocentrismo utilitarista, y la ecología profunda. La primera considera, como Pitágoras, que la medida de todas las cosas es el hombre, y más aún, sólo lo que es directamente útil para él. La segunda, considera a la humanidad simplemente como un componente más de todo un sistema.

Normalmente, se da más peso al antropocentrismo utilitarista por varias razones. En primer lugar, el argumento antropocentrista es mucho más pragmático, ya que nadie se encuentra capacitado para interpretar los intereses del planeta y todos sus componentes de manera adecuada. Además, este no excluye los intereses de los componentes no humanos del planeta. Tal como defendía (Smith, 1759), los humanos mostramos comportamientos altruistas, y no sólo hacia nuestra propia especie:

“How selfish so ever man may be supposed, there are evidently some principles in his nature, which interest him in the fortune of others, and render their happiness necessary to him, though he derives nothing from it except the pleasure of seeing it”

En conclusión, la medida de la sostenibilidad debe ser la especie humana, recogiendo los intereses del resto del planeta, sea por nuestro propio beneficio o por el altruismo defendido por Adam Smith.

El objetivo de la sostenibilidad no debe ser mantener el status quo, sino sostener el bienestar de la población. Este bienestar no debe reducirse a su aspecto económico, entendido como PIB, sino debe incluir componentes como: un entorno natural que preserve la vida en la Tierra y satisfaga las necesidades físicas y espirituales de sus

habitantes; un entorno social y familiar; una vida cultural, científica, religiosa o espiritual. El bienestar debe parecerse a lo que refleja la pirámide de (Maslow, 1943), las necesidades humanas fundamentales de (Max-Need, 1993), o la “vida buena” prescrita por filósofos como Aristóteles.

Una gran ventaja del enfoque basado en necesidades es que facilita alcanzar la sostenibilidad, comparado con el enfoque más economicista, ya que por naturaleza las necesidades están delimitadas en gran medida, mientras que las preferencias pueden ser ilimitadas. Tal como decía Gandhi, *“This world has enough to meet the needs of everybody, but not the greeds of everybody”*. Partir de un conjunto predeterminado de necesidades coarta la libertad individual, algo que en sí mismo reduce el bienestar. Además, no tenemos la posibilidad de conocer las preferencias de las generaciones futuras. Por estas razones, es mejor hablar de opciones para satisfacer necesidades o preferencias, en la línea de (Solow, 1992), más que de necesidades en sí mismas.

Igual que la renta económica deriva del capital, pero de formas distintas y flexibles según las preferencias de los individuos, también el resto del bienestar se puede derivar de otros tipos de capital (natural, humano, social, cultural, etc.) permitiendo a la vez flexibilidad en la forma de proporcionarlo. Por tanto, lo que debe conservarse no es el bienestar en sí mismo, sino las opciones para alcanzarlo, es decir, el capital del cual lo derivamos. Dado que no existe un único tipo de capital, deben establecerse varios, entre ellos: capital económico, natural, social o humano. Algunos de estos capitales pueden ser más imprescindibles que otros, y aquí es donde entra en juego la diferencia entre sostenibilidad débil y fuerte.

2.5.3. Sostenibilidad Débil y Fuerte

Hay dos diferencias fundamentales en la sostenibilidad débil y fuerte: la capacidad de sustitución de los capitales, y la existencia de niveles críticos en alguno de ellos.

El paradigma débil da por supuesto que los capitales son intercambiables o sustituibles, siempre que no disminuya el nivel global de bienestar. Aunque esta visión aporta mucha flexibilidad, la sustitución de unos capitales por otros puede dar lugar a problemas, no solo en cuanto a la posibilidad física de realizarla, sino también a las implicaciones éticas de la misma. Ni siquiera con la posibilidad de sustitución total, que en sí parece muy extrema, se aseguraría la sostenibilidad de un mundo con recursos finitos. Según (Solow, 2009), la finitud de los recursos hace que la única posibilidad para la sostenibilidad, y por tanto la única preocupación que debemos tener, sea el desarrollo de tecnologías “backstop”.

Por otro lado, el paradigma fuerte sugiere que los capitales no son sustituibles, sino complementarios para lograr el bienestar. Por conseciente, no es posible intercambiar los capitales para mantener un nivel de bienestar concreto, sino que cada capital en sí mismo debe mantenerse constante para lograr la sostenibilidad. Esta forma de pensar está relacionada con la existencia de límites físicos, niveles críticos de capital que no deben sobrepasarse. Generalmente estos se refieren al capital natural (siendo su valor mínimo el de los recursos necesarios para la vida en el planeta), pero también se extienden a otros tipos (educación mínima, derechos sociales básicos, etc.).

El problema es que, si bien el paradigma débil parece extremadamente flexible, el fuerte es demasiado restrictivo, ya que la sostenibilidad del bienestar sólo es un posible en un mundo con población estable o decreciente, y en un escenario en que hay una reducción inicial del bienestar sobre los niveles actuales. Obviamente, esto conlleva implicaciones sobre los derechos de la población que son difíciles de adoptar en la vida real. Asimismo, el enfoque fuerte se olvida de la distribución del capital, algo fundamental dentro del concepto de sostenibilidad.

2.5.4. Problema de la Distribución

Efectivamente, aunque se garanticen unos niveles de capital mínimos, debe asegurarse su distribución. Esto no es posible a través del paradigma fuerte, que no solo defiende que ningún tipo de capital puede disminuir, sino también niega cualquier tipo de transferencia de capital.

Aunque se pudiese obviar la cuestión de la distribución intergeneracional, no debemos olvidarnos de la intrageneracional. Este es uno de los problemas centrales de la sostenibilidad: no el mantenimiento de los recursos, sino su distribución entre sus distintos tipos, entre la generación actual y las futuras. Aquí es donde la ética juega un papel fundamental, ya que la distribución es sobre todo un problema de equidad y justicia.

2.5.5. Propuesta de Síntesis

El marco que se aplicará a este proyecto está basado en el que se propuso dentro de la asignatura “Ingeniería y Desarrollo Sostenible” de la U. Pontificia Comillas, desarrollado por Linares, Conchado y Romero. La propuesta, cuya arquitectura se parece a otras de la economía neoclásica, incorpora elementos provenientes de la sostenibilidad fuerte, y no se limita a la dicotomía economía-medio ambiente, sino que tiene en cuenta aspectos sociales y humanistas.

En conclusión, la sostenibilidad pretende mantener unos niveles de bienestar no decrecientes, y distribuirlos de forma justa tanto intrageneracional como intergeneracionalmente. A su vez, este bienestar deriva de una serie de capitales: capital económico, capital construido, capital natural, capital humano y capital social. Para mantener un nivel de bienestar no decreciente, y asegurar cierta flexibilidad en la forma de alcanzarlo, el requisito debe ser que el nivel de capital agregado sea no decreciente, según la regla de (Hartwick, 1977); es decir, la sostenibilidad consiste en crear valor en términos agregados.

$$\dot{K} = \frac{\partial K}{\partial t} = \frac{\partial K_m}{\partial t} + \frac{\partial K_h}{\partial t} + \frac{\partial K_n}{\partial t} \geq 0$$

Esto es, un individuo será más sostenible cuando aporte más valor del que detraiga, y lo mismo para empresas, países o actividades concretas.

Existen, sin embargo, algunas críticas a la propuesta de Hartwick. La más importante es que no existe una relación lineal entre bienestar y capital y, por tanto, la función de agregación del capital tampoco es lineal. En este sentido, la propuesta

difiere de las clásicas como la de (Munasinghe, 2004), representadas habitualmente como la figura de los tres ejes a continuación.

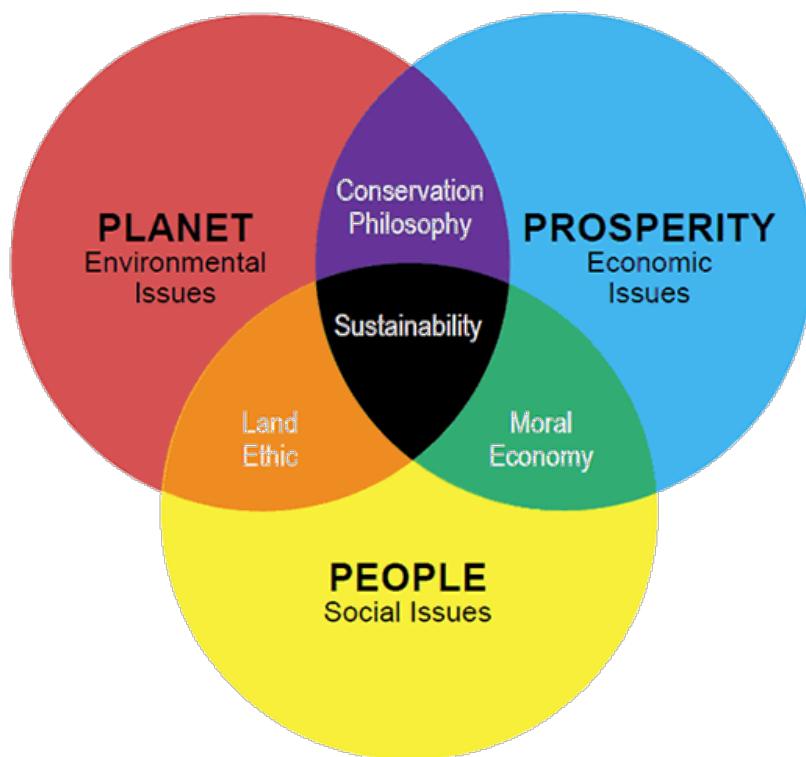


Figura 2.60: Las tres esferas de la sostenibilidad (Yates, 2012)

La diferencia es que en todas estas figuras los ejes tienden a considerarse como elementos aditivos de la sostenibilidad, con cierta posibilidad de solape, pero no se tienen en cuenta las posibles interacciones, sinergias y no linealidades. Algunas de las posibles interacciones son:

- La complementariedad entre el capital económico y el natural. Si bien el capital natural es un input para el desarrollo económico, a partir de ciertos niveles, puede considerarse como sustitutivo.
- El capital ambiental puede influir en el social, en lo que se conoce como la maldición de los recursos, por la cual una abundancia de recursos naturales de alto valor puede resultar en gobiernos viciados o regímenes autoritarios. De igual manera, las estructuras sociales sólidas permiten conservar mejor el capital natural.
- Los impactos ambientales, al tener carácter regresivo, afectan a la estructura social de la población.
- En un plano económico, mejoras ambientales inducidas por impuestos también pueden llevar consigo un desarrollo económico adicional, denominado doble dividendo.
- El capital social y humano condicionan el capital económico: las sociedades más estables y con mayor conocimiento pueden desarrollarse más.

- Una relación muy importante es la que une al capital humano con el resto de capitales y el bienestar: la innovación permite extraer más bienestar del mismo capital.

En conclusión, la regla de Hartwick debe utilizarse como una aproximación, siempre considerando relaciones más complejas entre los distintos tipos de capital, incluyendo complementariedades, sustituciones, e interacciones. Asimismo, como ya se ha mencionado anteriormente, es necesario establecer límites a ciertos tipos de capital, no solo al natural, sino también al social, humano, etc. Por último, debe mantenerse en mente el aspecto de la distribución justa de los capitales, entendida no como reglas de mínimos, sino como un reparto justo de los recursos, entendidos como oportunidades para el bienestar.

2.5.6. Alcance Real de la Sostenibilidad

Aunque a priori existen muchas razones para pensar que la sostenibilidad es inalcanzable, debido principalmente a motivos medioambientales, si observamos las tendencias históricas, hay muchos argumentos que invitan al optimismo general, sobre todo en cuanto al futuro del nivel de los capitales.

Hans Rosling, profesor del Karolinska Institutet en Estocolmo, Suecia, y consejero de la OMS y UNICEF, explica su visión del futuro a través de los siguientes cinco puntos:

- 1) Ya no existen dos tipos de países en el mundo, la antigua división entre países industrializados y en desarrollo ha sido reemplazada por 192 países en un continuo desarrollo socio-económico.
- 2) Muchos países asiáticos están desarrollándose ahora dos veces más rápido de lo que Europa consiguió jamás.
- 3) Una nueva brecha podría formarse entre los 5 billones de personas que tienden a vidas sanas con educación, teléfonos móviles, electricidad, lavadores y servicios sanitarios, y el más de 1 billón de personas que sigue en el círculo vicioso de pobreza absoluta.
- 4) De momento, todo progreso en términos de salud y riqueza se ha basado en un aumento de emisiones de CO₂, responsable de la inminente crisis climática.
- 5) Hay razones para el optimismo en el futuro del planeta, ya que actualmente este se encuentra mal gobernado. Por tanto, existen enormes oportunidades para mejorar la vida de todos los seres humanos mediante la convergencia a un mundo más equitario, seguro, sostenible y libre.

(Acemoglu, 2012), por otra parte, también muestra tendencias que invitan al optimismo. Defiende que la gobernanza de los países es cada vez mejor, que los derechos civiles y políticos cada vez alcanzan a más personas, y que la salud y educación han mejorado enormemente, tal como muestran las siguientes imágenes sobre índices de democratización y convergencia en esperanza de vida.

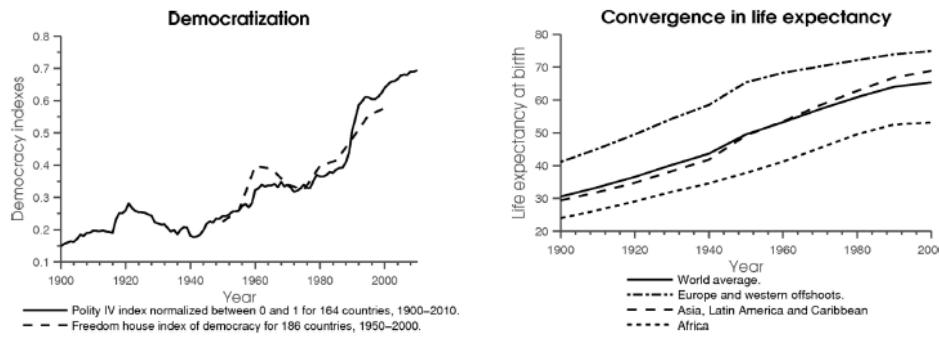


Figura 2.61: Evolución de los índices de democratización y convergencia en esperanza de vida 1900-2000 (Acemoglu, 2012)

Sin embargo, no existen tantas razones para el optimismo en la distribución justa de los recursos, sobre todo en ciertas regiones del planeta. Rosling caracteriza la actual situación mundial en función de dos factores: salud, entendida como esperanza de vida media, y PIB per cápita. Tal como puede verse en el siguiente gráfico, existe una relación lineal entre ambos, siendo los países más avanzados aquellos que se encuentran en Europa y América, incluyendo LatAm.

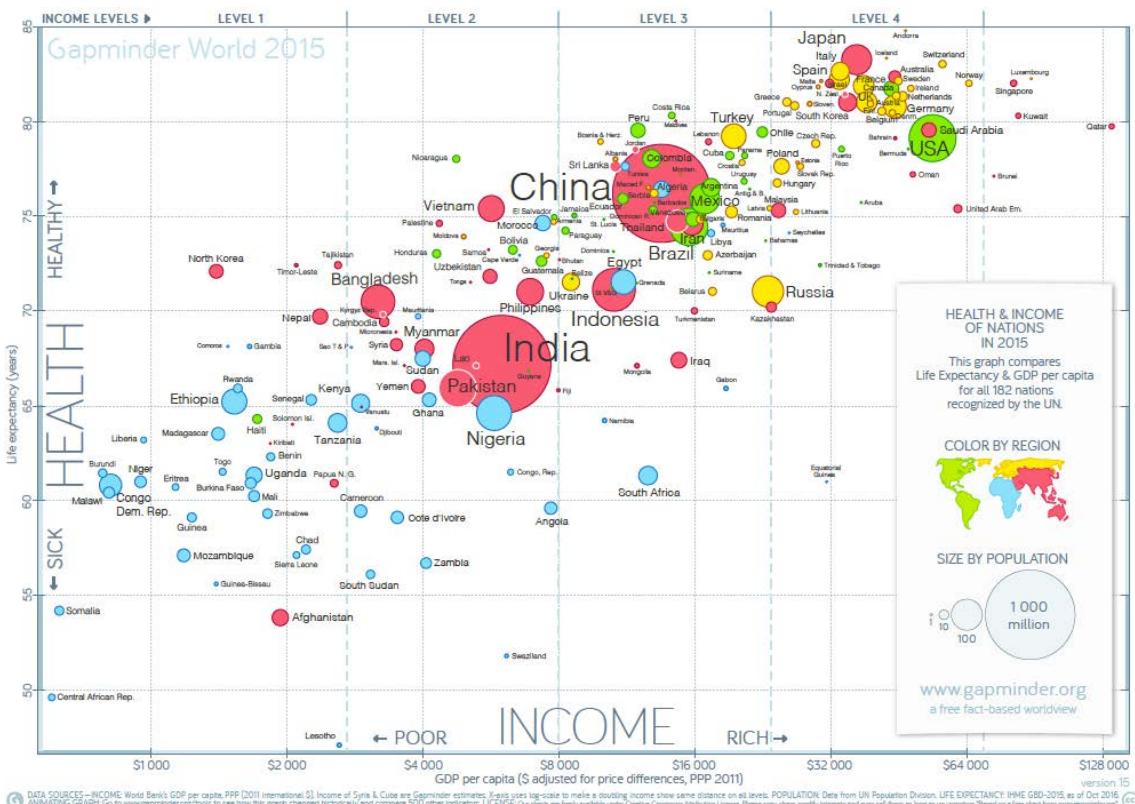


Figura 2.62: Relación entre la esperanza de vida y el PIB per cápita (Gapminder, 2015)

Algunos de los países más poblados del mundo, como China e India, se encuentran aún muy lejos de otros mucho más pequeños, como Irlanda, Singapur o Puerto Rico.

Por último, los países africanos, a excepción quizás de los países del Magreb, se encuentran todos en el límite del umbral de la pobreza, y cuentan con unos niveles sanitarios que no garantizan esperanzas de vida por encima de los 65 años.

No obstante, es importante recordar que, si bien existe una brecha importante entre el PIB per cápita de algunas regiones del mundo, esta se ha hecho cada vez más pequeña en los últimos 20 años, tal como muestra la siguiente figura.

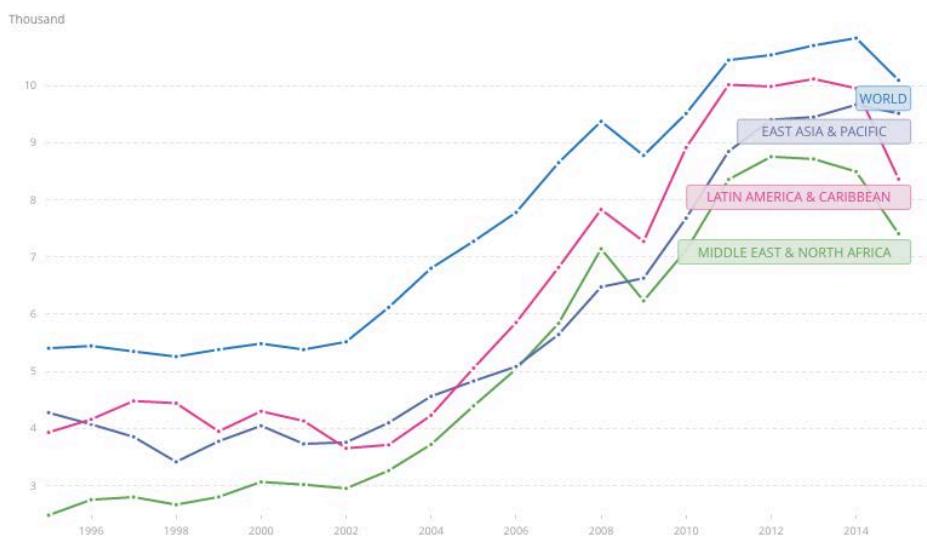


Figura 2.63: PIB per cápita de las principales regiones en desarrollo (World Bank, 2015)

Para poder alcanzar la sostenibilidad global en este aspecto, (Acemoglu, 2012) sugiere dos elementos principales: reforzar los sistemas de gobernanza tanto a nivel local como global, y mejorar la disponibilidad de los recursos, tanto en cuanto a su gestión, como en lo referido al desarrollo tecnológico.

2.5.7. Medidas de Sostenibilidad

Los avances en la concienciación colectiva sobre la importancia del Desarrollo Sostenible han resultado en una búsqueda incesante de indicadores que nos informen sobre la evolución de los procesos. Es importante mantener en mente que ningún indicador, por sofisticado y preciso que parezca, podrá jamás reflejar toda la complejidad inherente al proceso. Siempre será necesario un trabajo transdisciplinario que estudie distintos indicadores simultáneamente y se encuentre sometido a una permanente revisión.

- *Medidas absolutas y relativas*

Los indicadores relativos reflejan una medición de un aspecto concreto relacionado con un cierto tipo de capital. Los indicadores absolutos, por otro lado, se refieren a valores límite, normalmente relacionados con la capacidad del ambiente para soportar presiones externas.

Uno de los mayores problemas es la conversión de unidades entre sistemas. Mientras que los límites naturales pueden medirse en unidades termodinámicas, la actividad que provocan está regulada en términos económicos. Existen dos alternativas: la débil, que a partir de técnicas de valoración pretende incorporar las “externalidades” al balance económico, y la fuerte, que quiere objetivar biofísicamente el sistema económico.

- *Medida de la escasez*

La escasez, o falta de un recurso, puede considerarse de dos formas: o malthusiana y ricardiana. La primera mide la disponibilidad de un recurso en términos absolutos, por ejemplo, la cantidad total de petróleo disponible en el mundo. La segunda mide la disponibilidad de un recurso con respecto a otros recursos alternativos o con respecto a la demanda.

Para hablar de escasez, es necesario distinguir entre los distintos tipos de recursos que existen: renovables o no, dependiendo de la tasa de crecimiento, y agotables o no, en función de la tasa de extracción en comparación con la tasa de crecimiento.

En conclusión, pueden ser escasos todos aquellos recursos, renovables y no renovables, para los que su tasa de uso supere a la de renovación o reciclaje. Una vez determinado si un recurso puede ser escaso, puede aproximarse el valor de su unidad como la diferencia entre su precio (en el mercado en competencia perfecta) y el coste marginal de la obtención del recurso. Las dificultades residen en que los precios que varían en función de la ley de la oferta-demanda, y los costes en función de la tasa de extracción o la tecnología. Por ello, normalmente la escasez suele medirse directamente a través del precio, aunque este a veces se ve afectado por manipulaciones del mercado.

Según el consenso generalizado de los analistas, existen cuatro características principales necesarias para todo índice de sostenibilidad: relevancia, fundamento científico demostrado, capacidad de implementación real y utilidad para la toma de decisiones. Algunos de los índices más comunes son:

- *Ecological Footprint (EF)*: la Huella Ecológica mide el consumo total de bienes y servicios y la cantidad de residuos asimilados por hectárea de tierra bioproduciva. Así, es posible reducir el impacto ambiental calculando la diferencia entre la EF y la Biocapacidad Global (GB), es decir, la superficie promedio que dispone cada habitante para cubrir sus necesidades. En la actualidad, se estima que este dato es 1,8 ha.g/hab
- *Human Appropriation of Net Primary Production (HANPP)*: la apropiación humana de la producción primaria neta de biomasa es un índice que refleja tanto el área total de tierras bioproduktivas usadas por la actividad humana, como la intensidad del uso de dichas tierras. Puede medir hasta qué punto la explotación de las tierras y el expolio de la biomasa altera el ecosistema. En definitiva, cuanto mayor es el HANPP, menos biomasa está disponible para otras especies.
- *Exergía/Energía*: mide la cantidad de energía final aprovechable, es decir, el porcentaje de energía capaz de transformarse plenamente en trabajo que se encuentra presente en cualquier recurso energético primario. Suele utilizarse para medir el impacto de la actividad industrial sobre el entorno.

- *Water Footprint (WF)*: la Huella de Agua de un individuo es el volumen total de agua fresca utilizada para producir los bienes y servicios consumidos por dicho individuo.
- *FEEM Sustainability Index (FEEM SI)*: la Fundación Eni Enrico Mattei, desarrolló en 2011 un indicador de sostenibilidad agregado de ámbito nacional. Para su cálculo, se reunen indicadores de tres polos (sociales, económicos y medioambientales) y se agregan utilizando una metodología no-lineal en la que los pesos son asignados a partir de la información aportada por expertos. El resultado es una clasificación ordenada de naciones en función del grado de desarrollo sostenible de su sociedad.
- *Well-Being Index (WI)*: deriva del HWI (Human Well-Being Index) y el EWI (Ecosystem Well-Being Index).
- *Human Development Index (HDI)*: es una medida ponderada del grado de desarrollo socio-económico de los países. Fue desarrollado por la ONU con el fin de complementar la información meramente económica del PIB. Mide tres dimensiones básicas: esperanza de vida, nivel de analfabetismo adulto y PIB per cápita. Al igual que en el caso anterior, no contempla variables medioambientales, luego no cubre el espectro completo de la sostenibilidad.

El indicador más importante, no obstante, sigue siendo el PIB, y todos aquellos que pivotan sobre él:

- *Index of Sustainable Economic Welfare (ISEW), Genuine Progress Indicator (GPI), Sustainable Net Benefit Index (SNBI)*: los tres modifican el PIB incorporando factores sociales a los que se le aplica cierto valor de cambio.
- *Environmentally-adjusted Domestic Product (EDP o Green EDP)*: se trata de un PIB modificado al que se ha restado la depreciación del capital debida al consumo de recursos no-renovables y a la degradación ambiental.
- *Genuine Savings (GS)*: es un resultado del anterior. Se calcula restándole el consumo al propio EDP.
- *Net National Product (NNP)*: en la misma línea de los anteriores, el Producto Nacional Neto es el resultado de restar al PIB la depreciación de los bienes y servicios que lo constituyen. Al restar la depreciación lo que se pretende es obtener un indicador que marque el límite de consumo de bienes de forma que se garantice el consumo futuro.

Por último, Mori realizó una clasificación de los índices anteriores en función de su inspiración fuerte o débil. La separación entre compuestos y sencillos responde al origen de cada índice: los que proceden de una ponderación de un conjunto de indicadores previamente fijado (compuestos) y los que han sido calculados de forma directa (sencillos).

Principales Indicadores				
	Sostenibilidad Fuerte	Sostenibilidad Débil	Parcialmente Débil y Fuerte	Sin Definir
Complejos	EVI, EPI, LPI	CDI, WI	DS, ESI	HDI
Sencillos	EF, HANPP, WF, Exergía	ISEW, GPI, EDP, GS, SNBI		

Figura 2.64: Clasificación de los principales índices de sostenibilidad

Capítulo 3. – Región de Estudio

3.1. Perú

3.1.1. Organización Geográfica y Administrativa



Figura 3.1: Vista del atardecer en la fortaleza inca de Machu Picchu, Perú (traumlichtfabrik – Getty Images)

Región de Estudio

Perú es un país dividido de oeste a este en tres grandes unidades: la Costa (del Pacífico), los Andes o la Sierra, y la Selva (amazónica) o la Montaña. Tiene el Pacífico al oeste, al norte limita con Ecuador y Colombia, al este con Brasil y Bolivia, cortando la frontera el lago Titicaca; el sur es el pequeño contacto con Chile. Extendido de noroeste a sudeste a través de más de 2.000 kilómetros, desde el ecuador terrestre hasta el límite chileno-boliviano; sus 1.285.215 km² (como dos Españas y media) lo convierten en el tercer país de Sudamérica en extensión.

Existen 24 departamentos más una provincia constitucional, Callao; los departamentos se dividen en provincias (179) y estas en distritos (1.765). En 1990 se estableció una nueva organización regional que engloba a los departamentos; las nuevas regiones son: Central (Lima-Callao), Grau (Piura, Tumbes), Amazonas (Loreto), Ucayali (Ucayali), Inca (Madre de Dios, Apurímac, Cuzco), Noroeste de Marañón (Cajamarca, Lambayeque, Amazonas), San Martín-La Libertad (San Martín, La Libertad), Andrés Avelino Cáceres (Junín, Pasco, Huánuco), José Carlos Mariátegui (Moquegua, Tacna, Puno), Arequipa (Arequipa), Gran Chavín (Ancash) y Libertadores-Wari (Ayacucho, Huancavelina, Ica).

DEPARTAMENTO	km ²	HABITANTES	DENSIDAD	CAPITAL	HABITANTES	ALTITUD (m)
Amazonas	39.249	335.500	8,5	Chachapoyas	14.900	2.325
Ancash	25.041	991.500	28,3	Huaraz	56.300	3.100
Apurímac	29.896	377.400	18,1	Abancay	24.700	2.375
Arequipa	65.345	968.800	14,8	Arequipa	666.600	2.350
Ayacucho	43.815	577.100	13,2	Ayacucho	106.700	2.750
Cajamarca	34.023	1.277.300	37,5	Cajamarca	77.300	2.750
Callao	147	591.800	4025,9	Callao, El	591.800	5
Cuzco	71.892	1.049.400	14,6	Cuzco	290.600	3.325
Huancavelica	22.131	383.700	17,3	Huancavelica	26.800	3.660
Huánuco	37.722	619.800	16,2	Huánuco	67.500	1.900
Ica	21.328	545.900	24,6	Ica	160.900	450
Junín	44.410	1.118.400	25,2	Huancayo	219.400	3.275
La Libertad	4.795	127.900	50,3	Trujillo	562.200	50
Lambayeque	14.231	935.100	64,7	Chiclayo	450.500	50
Lima	34.802	6.757.900	194,2	Lima	6.209.600	150
Loreto	368.862	655.800	1,8	Iquitos	284.800	100
Madre de Dios	85.183	48.700	0,6	Puerto Maldonado	6.200	250
Moquegua	15.814	133.800	8,5	Moquegua	28.500	1.400
Pasco	25.320	286.300	11,3	Cerro de Pasco	91.700	325
Piura	35.892	1.494.300	41,6	Piura	342.900	25
Puno	72.012	1.035.700	14,4	Puno	85.200	3.850
San Martín	51.253	455.800	8,9	Moyobamba	18.400	850
Tacna	15.983	208.800	13	Tacna	158.700	550
Tumbes	4.669	144.200	30,9	Tumbes	154.000	25
Ucayalí	102.411	230.500	2,3	Pucallpa	161.700	150

Figura 3.2: Datos geográficos y demográficos de los departamentos de Perú (Portillo Sisniega et al., 2006)



Figura 3.3: Mapa de distritos en Perú (Portillo Sisniega et al., 2006)

3.1.2. Síntesis Histórica

Perú es un país de muchísimos contrastes, que cuenta con una rica historia desde los tiempos de las culturas preincaicas. Sus lenguas oficiales son el castellano, el quechua y el aymará, aunque también se hablan otras como el arauaco y el tupí-guaraní. La religión predominante es el catolicismo (95%), seguida de protestantismo (3%), judaísmo, animistas y otros.

Perú Prehispánico

Hacia 1000 AC se desarrolló la cultura de Chavín de Huantar, cuya construcción piramidal puede verse en Huaraz. Tras ella, cerca del 200 AC florecieron las culturas de la Costa y pie andino: Paracas, entre Pisco e Ica; Moché, en los valles de Chicama, Moché y Virú, de las que han quedado restos de pirámides del Sol y la Luna; Nazca, cultura de la que han quedado grabadas en el desierto figuras sobre las que se mantienen diversas hipótesis y cuyas formas (arala, colibrí, cóndor, etc.) se descubrieron tras sobrevolarlas; Recuay, en el Callejón de Huaylas, con edificaciones pétreas subterráneas y superficiales.

A partir del siglo VIII DC aparecieron los Tiahuanaco, cultura original de Bolivia, a orillas del lago Titicaca; Huari, que se extendió por Cajamarca y Chimú, la cultura de Chanchán.

Los Incas

Originado a principios del S. XIII en el valle de Cuzco, inició su expansión en 1438. En un siglo extendió su imperio desde el actual Ecuador, al norte, hasta el centro de Chile, al sur, y Bolivia y Tucumán, al este.

El estado incaico estaba construido por una monarquía absoluta, cuya cabeza era el Inca (en quechua *inca* significa soberano), que tenía carácter divino. Se apoyaba en una clase sacerdotal muy poderosa y una aristocracia integrada por los descendientes de distintos incas; el pueblo, casi sin derechos, se agrupaba en *ayllus*, organizadas bajo la autoridad de un representante del Inca o *curaca*.

La base económica era la agricultura; las tierras pertenecían al Inca y eran distribuidas entre los *ayllus*, que cultivaban en común y entregaban sus productos al estado, del que recibían parte para subsistir. La agricultura se basaba en el escalonamiento de las vertientes, andenes, en el regadío mediante canales y acequias, y en el abono de la tierra. La ganadería también era muy importante, basada en la cría de llamas, alpacas, vicuñas y guanacos.

Se construyeron calzadas de piedra y puentes para permitir la comunicación en el imperio; levantaron enormes fortalezas de defensa, como Machu Picchu; y urbanizaron espacios con ciudades como Cuzco.

El fin del Imperio incaico se relaciona con los problemas derivados de la sucesión de Huayna Cápac, cuyos hijos se disputaron el trono e iniciaron una guerra civil, durante la cual llegaron los españoles al mando de Pizarro.

Época Colonial

Francisco Pizarro llegó en 1524 al puerto de Piñas desde Panamá. Posteriormente llegó a Tumbes y, tras la firma de las capitulaciones de Toledo, emprendió en 1530 la conquista del Imperio Inca. Tras fundar ciudades en la Costa (Piura en 1532, la primera) y en la Sierra (tomó Cuzco en 1533), la conquista terminó con la fundación de Ciudad de los Reyes en lo que hoy es Lima (1535).

Perú se organizó como virreinato (1542), dependiente de la corona española. Sus bases económicas fueron la minería y la agricultura. Había una fuerte estratificación social y étnica, se reglamentó el trabajo en las minas con la *mita* y en la agricultura con la *encomienda*, y aumentó la producción de plata en los grandes centros de Potosí (actual Bolivia) y Cerro de Pasco (Portillo Sisniega et al., 2006).

La Independencia

Pese a sus privilegios frente a los indios, la burguesía criolla estaba molesta por el centralismo castellano. En 1780 se produjo la gran rebelión indígena encabezada por Tupac Amaru y defendida por los criollos, que finalmente fue sofocada. La independencia llegó en 1821 cuando el general argentino San Martín depuso en Lima al virrey. Finalmente, en 1824, tras un periodo de resistencia, los españoles abandonaron Perú.

La primera mitad del s. XIX se caracterizó por el caudalismo y el militarismo. A mediados del mismo siglo. Ramón Castilla impulsó la explotación del guano y el salitre. Durante la segunda mitad del siglo, tuvo lugar la guerra contra España (alianza Perú-Chile-Ecuador-Bolivia), en la que fue derrotado el almirante Méndez Núñez, y en 1879-84 la Guerra del Pacífico, por la que Perú perdió a favor de Chile el sur de su territorio, del que solo en el s. XX recuperó Tacna. Desde entonces se suceden distintos gobiernos militares.

El Siglo XX

La I Guerra Mundial supuso una grave crisis económica que aumentó la agitación social. La crisis de 1929 demostró la dependencia económica de Perú y dio lugar a la Alianza Popular Revolucionaria Americana (APRA). Durante los siguientes años se alternaron períodos democráticos y gobiernos militares dictatoriales.

En 1968, el general Velasco Alvarado dio un golpe de estado y diseño un plan económico con un fuerte control estatal. Además, realizó una reforma agraria, nacionalizó el petróleo, la mayor empresa minera, la pesca, el guano, los ferrocarriles y las industrias básicas. La crisis de 1973 le afectó directamente y en 1975 fue sustituido por el general Morales, que liberalizó la economía, reprivatizando algunas empresas nacionalizadas.

Belaúnde Terry ganó las elecciones de 1980, una vez establecida la democracia, y continuó la liberación económica, dando lugar a una fuerte deuda externa y al consecuente empobrecimiento de Perú.

La Constitución de 1980, con la que Perú había salido de doce años de régimen militar, quedó derogada en abril 1992 por el autogolpe del presidente (civil) Fujimori, descendiente de inmigrantes japoneses. El texto establecía la separación entre los poderes legislativo, ejecutivo y judicial, confería al presidente de la República un mandato quinquenal no renovable y abolía la pena de muerte. Fujimori hizo elegir una asamblea constituyente en noviembre de 1992, la cual redactó un nuevo texto constitucional, que sería sometido a referéndum el 31 de octubre de 1993.

A pesar del rechazo por parte del *Perú profundo* (los Andes, sobre todo), esta fue finalmente aprobada, concediendo al presidente la opción de un segundo mandato consecutivo y estableciendo la pena de muerte en casos de terrorismo.

3.1.3. Análisis Demográfico

La población peruana tiene rasgos que son comunes a toda Iberoamérica: elevado crecimiento a partir de la II Guerra Mundial, sobre todo desde los sesenta; diversa estructura étnica y débil integración social y económica; diferente ocupación del espacio y movimientos migratorios constantes.

Diferentes etnias coexisten por toda la geografía peruana, desempeñando diversos papeles culturales, sociales y económicos: amerindios, mestizos, criollos, africanos, asiáticos y otros americanos.

En el último cuarto del siglo XIX Perú tenía tres millones de habitantes, que antes de la II Guerra Mundial se habían convertido en siete millones. Durante ese largo periodo, el crecimiento medio anual era inferior al dos por ciento anual; sin embargo, a partir de los cincuenta, se inicia una aceleración del crecimiento, que en la década de los sesenta llega al 2,9%, para descender en los ochenta al 2,5. En 1960 se alcanzaba la cifra de diez millones de peruanos y en 1986 se superaban los veinte millones. En la actualidad, Perú cuenta con una población total superior a los 31 millones de habitantes, de la cuál 40% (12,4 millones) se concentra en núcleos urbanos.

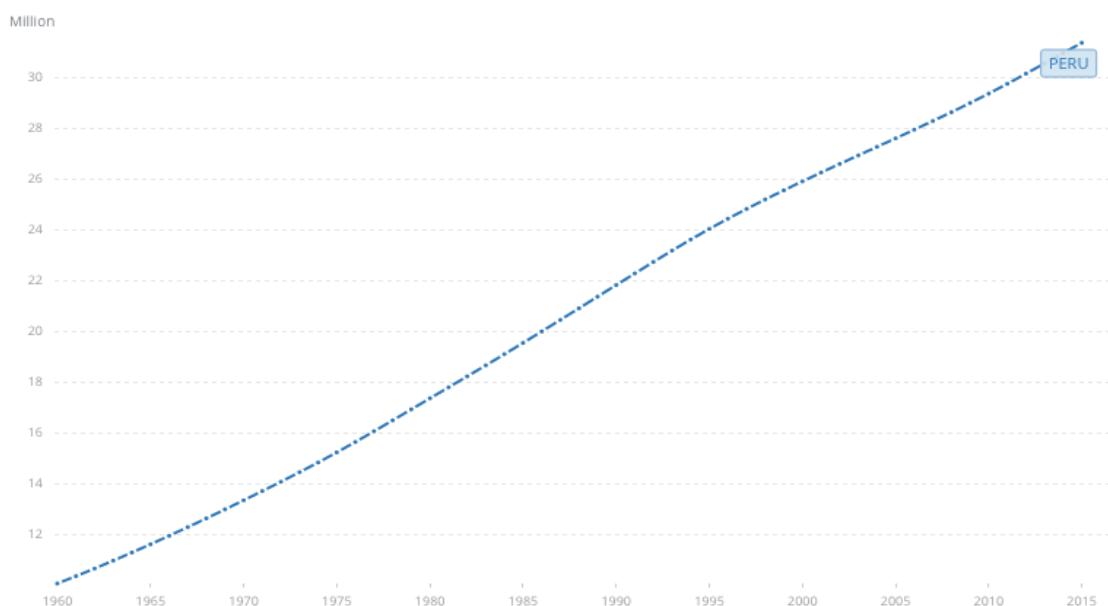


Figura 3.4: Evolución de la población total de Perú (World Bank, 2015)

El rápido crecimiento de la población en los últimos cincuenta años (más de un 150%) se ha debido principalmente a una alta tasa de natalidad, que en algunos periodos ha rebasado el 47%, y a una mortalidad decreciente, lo que supone una extrema juventud de la población.

Por otro lado, el traslado de la población desde la Sierra a la Costa y la Selva está haciendo disminuir la imagen de Perú como un país andino. Lima, la capital, cuenta actualmente con una población superior a los 6 millones de habitantes (más del 20% de la población total).



Figura 3.5: Visión satélite de Lima, Perú (Planet Observer - Getty Images, 2014)



Figura 3.6: Vista aérea de Lima y sus acantilados al océano Pacífico (Paul Kennedy - Getty Images)

3.1.4. Análisis Socio-Económico

Debido a sus importantes riquezas naturales, Perú ha pasado – tanto por la inercia de una estructura económica colonial como por los continuos cambios de orientación de su política productiva y por el rápido crecimiento de su población – a una situación de crisis crónica en la que las deudas externas y la falta de inversión extranjera frenaban el desarrollo.

Hasta 1968, la estructura de la propiedad se mantuvo con los mismos esquemas que en la época colonial: grandes haciendas y estancias ganaderas, y las peores tierras,

repartidas en un microfundismo insuficiente para alimentar a las familias; hasta esa fecha, el 10% de los propietarios poseían el 82% de la superficie agropecuaria.

Las expropiaciones llevadas a cabo por el régimen militar nacionalista de Velasco Alvarado, en el poder tras el golpe de estado de 1968, terminaron con los latifundios y crearon las SAIS (Sociedades Agrícolas de Interés Social), cooperativas con capacidad de autogestión que integraban a las comunidades autónomas. Sin embargo, la posesión de tierra no fue acompañada de los créditos necesarios para acceder a los medios de producción, luego las desigualdades regionales seguían siendo una realidad.

En los últimos años, Perú ha exhibido un desempeño macroeconómico robusto, según los datos del Banco Interamericano de Desarrollo. El país ha sido una de las economías más dinámicas de América Latina, en un ambiente de estabilidad fiscal, equilibrio externo y baja inflación. En 2009, Perú pudo sortear con éxito la crisis financiera internacional, logrando una rápida recuperación posterior. Actualmente, la economía peruana muestra perspectivas positivas de corto y mediano plazo.

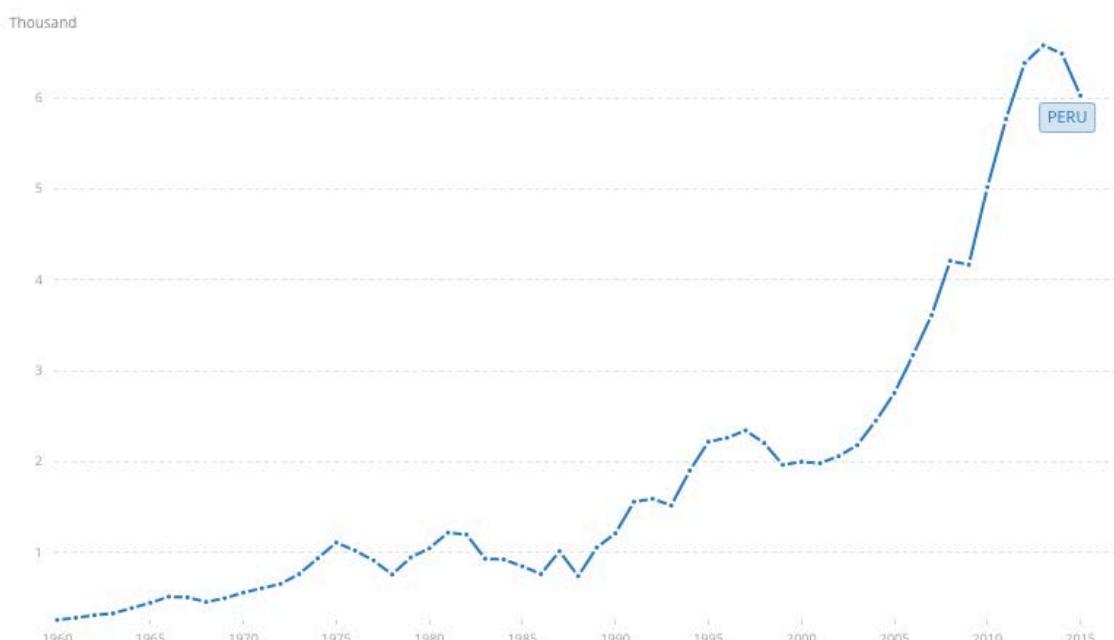


Figura 3.7: Evolución del PIB per cápita en Perú 1960-2015 (World Bank, 2015)

Junto con la evolución del contexto macroeconómico, Perú también registró una mejora en los indicadores sociales, con avances importantes en términos de lucha contra la pobreza.

El índice Gini, que mide las desigualdades en la distribución de los ingresos dentro de la población, decreció un 17,8% entre 1997-2014, según el Banco Mundial. A pesar de ser un índice alto en comparación con países desarrollados como Alemania o Francia, incluso EEUU (que a menudo suele ser un ejemplo de desigualdad interna a nivel macroeconómico), es uno de los países con menor inequidad dentro de América Latina, por debajo de otros como Brasil, Colombia o Venezuela.

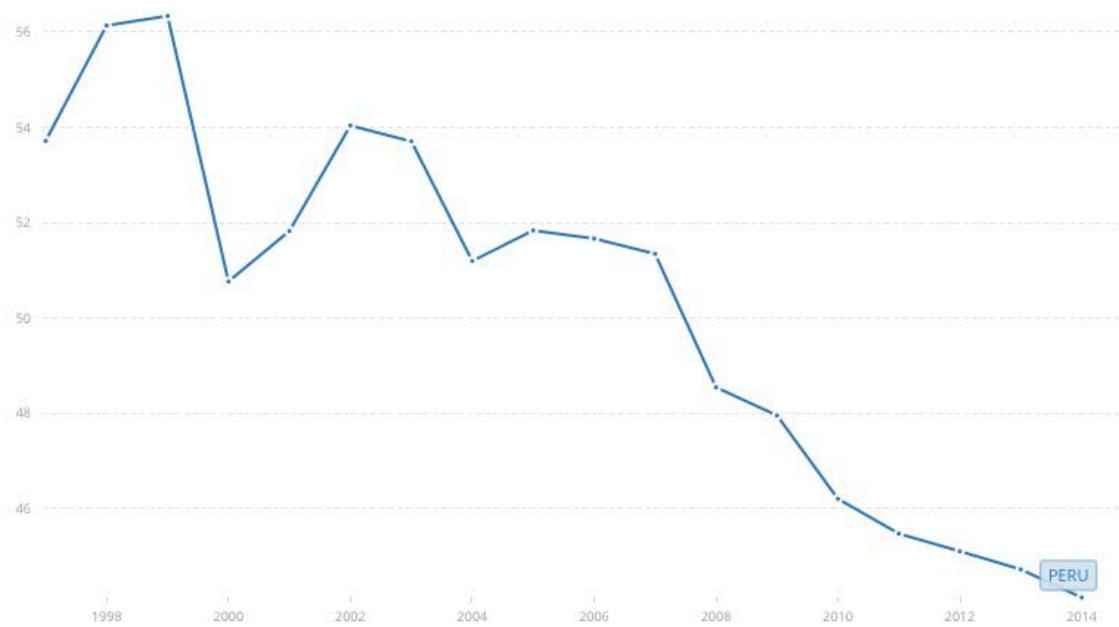


Figura 3.8: Evolución del índice GINI en Perú 1997-2014 (World Bank, 2014)

En el siguiente gráfico se puede ver cómo está distribuida la riqueza nacional por quintiles dentro de los países en América Latina. Perú, como ya hemos mencionado, se encuentra en una situación mejor que otros países amazónicos como Brasil, Colombia o Venezuela, con un 4% del PIB distribuido para el 20% de su población más pobre.

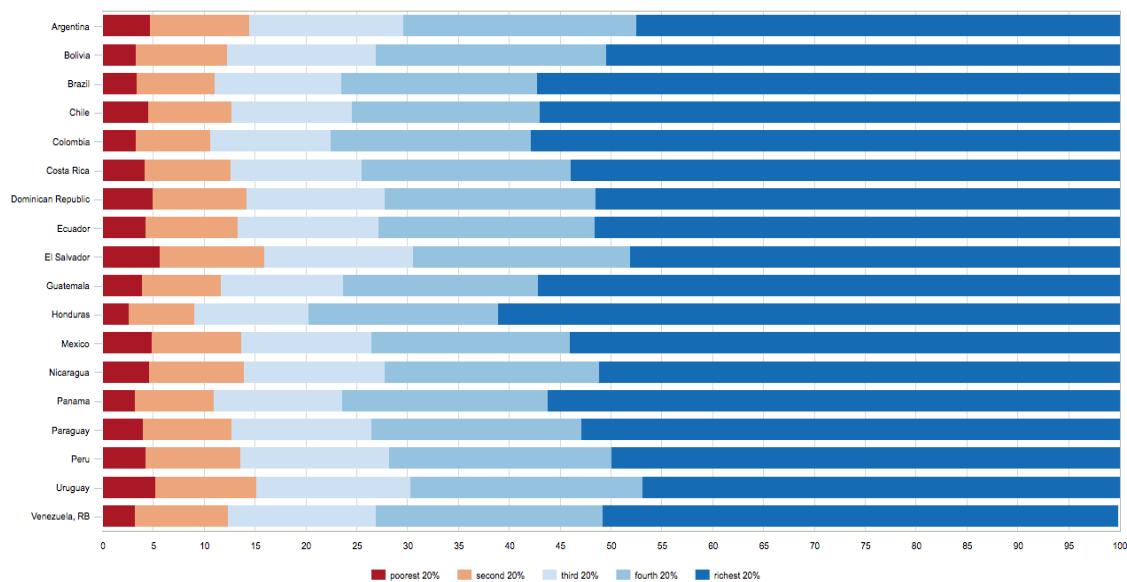


Figura 3.9: Distribución de ingresos por quintiles en Latino América (World Bank, 2016)

A pesar de esto, un 4% de la población total (aprox. 1,25 millones de personas) vive con menos de \$1,90 al día, y un 11% (aprox. 3,4 millones) con menos de \$3,10 al día.

Región de Estudio

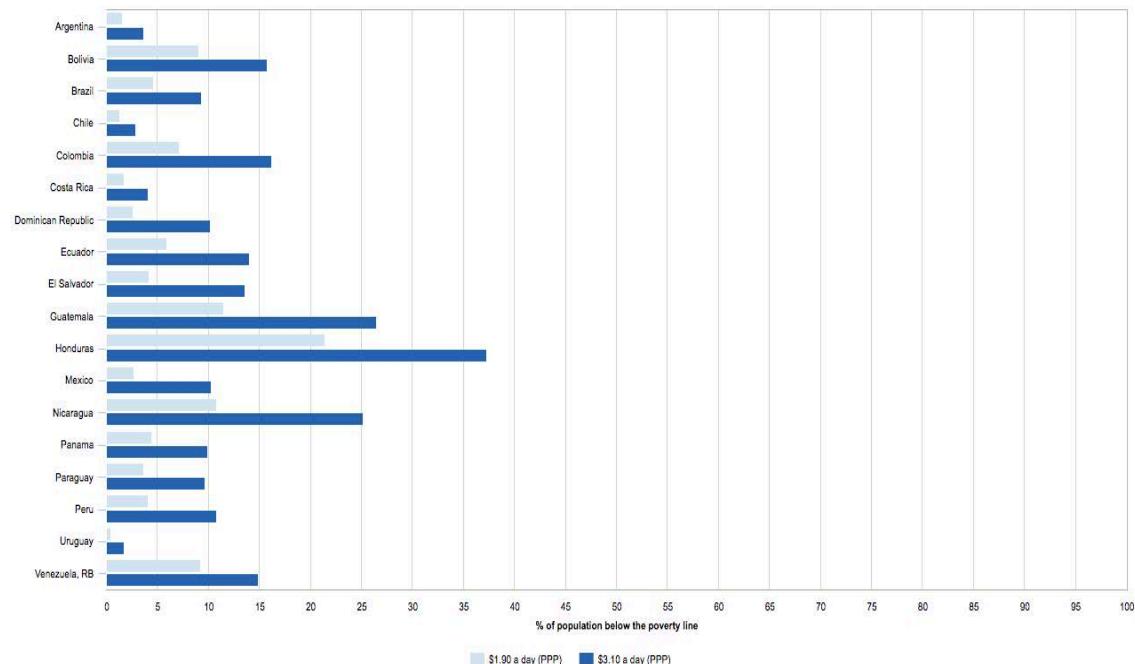


Figura 3.10: Porcentaje de la población por debajo de la línea de pobreza en Latino América (World Bank, 2016)

Las principales diferencias en el progreso nacional de Perú tienen lugar en términos regionales, lo cual explica que las condiciones de vida sigan siendo tan diferentes entre las poblaciones urbanas y rurales. Actualmente, la tasa de pobreza rural es casi tres veces superior a la urbana, lo cual constituye la diferencia más alta de América Latina. Dentro de las tres principales regiones en Perú, las diferencias en pobreza rural son muy importantes: 58,8% en la Sierra, 46,1% en la Selva y 31,6% en la Costa.

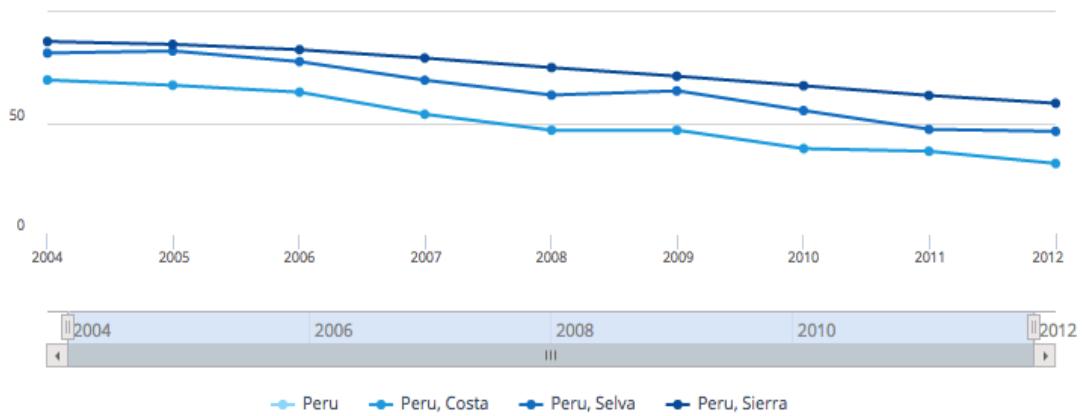


Figura 3.11: Evolución del porcentaje de la población peruana bajo el índice de la pobreza por región 2004-2012 (World Bank, 2012)

El Banco Interamericano de Desarrollo sostiene que los principales retos de cara al desarrollo de Perú en los próximos años serán las brechas de acceso a servicios sociales, seguridad social, infraestructura básica y oportunidades económicas, entre las áreas rurales y urbanas; junto con el fortalecimiento de la productividad para dar sostenibilidad al crecimiento económico.

Perú deberá alcanzar un modelo que, con el apoyo de un Estado más eficiente, mantenga el crecimiento económico, impulse la recuperación de los equilibrios sociales y territoriales y sea compatible con la sostenibilidad del medio ambiente.

En este contexto de impulsión al desarrollo sostenible del país se enmarca el presente proyecto, que pretende estudiar el impacto de la mejora en el acceso a electricidad y agua potable en una de las regiones más desfavorecidas de Perú, Loreto (con capital en Iquitos), donde se encuentra la Amazonía peruana y, más en concreto, el río Napo.

3.2. Río Napo

3.2.1. Departamento de Loreto

El departamento de Loreto se encuentra en la cuenca del río Amazonas y cubre 368.862 km², o el equivalente al 28,7% de la superficie total de Perú. A pesar de ser el departamento más extenso del Perú, tiene una densidad de población de 1,8 personas/km². Loreto cuenta con una población de 665.800 personas, de las cuales 66,3% viven bajo la línea de pobreza. Aproximadamente el 50% de la población vive en ciudades pequeñas o pueblos rurales distribuidos a lo largo de los afluentes del Amazonas.



Figura 3.12: Departamento de Loreto, Perú (Google Maps, 2017)

Dentro de Loreto encontramos 8 provincias, de las cuales la más importante es Maynas, que aloja la capital del departamento de Loreto: Iquitos, también conocida como la “capital de la Amazonía peruana”.



Figura 3.13: Provincias dentro del departamento de Loreto, Perú (UNAP, 2007)

3.2.2. Provincia de Maynas

Iquitos ($3^{\circ}45'0''S$, $73^{\circ}15'0''W$) cuenta con una población de aproximadamente 539.901 habitantes según los últimos sondeos (Municipalidad Provincial MAYNAS, 2010), y es accesible solo a través de avión o barco. Su área metropolitana se expande dentro de 4 distritos: Iquitos (163.594 habitantes), San Juan Bautista (124.143 habitantes), Punchana (85.179 habitantes) y Belén (74.551 habitantes).



Figura 3.14: Distritos del área metropolitana de Iquitos, Perú (EdwinJs - Wikiviajes, 2015)

A 106 m sobre el nivel del mar, Iquitos es el principal puerto fluvial peruano y uno de los más importantes a lo largo del Amazonas. Está situado a 3.368 km de la desembocadura del Amazonas en el Atlántico, a 125 km aguas debajo de la confluencia de los ríos Ucayali y Marañón, donde el cauce toma el nombre de Amazonas, y a más de 3.000 km de la que se dice que es su fuente en la región de Arequipa, al sur de Perú.

Al estar cerca de la línea ecuatorial, Iquitos posee un clima tropical lluvioso (cálido y húmedo), con temperaturas que van desde los 20°C a 36°C. La temperatura promedio anual es de 28°C, con una humedad relativa promedio del 85%. La temporada de lluvia es de noviembre a mayo, con la red fluvial en su punto más alto en mayo y más bajo en octubre, temporada en la que aparecen las tropicales playas amazónicas.



Figura 3.15: Vista aérea de Iquitos, capital de Loreto, Perú (DeAgostini - Getty Images, 2011)

A 64 km de Iquitos, en Francisco de Orellana, el Amazonas se junta con uno de sus principales afluentes, el río Napo, donde se centra el trabajo de este proyecto.



Figura 3.16: Confluencia del río Napo con el Amazonas, Perú (Erica Naranjo, 2012)

3.2.3. El Río Napo

El río Napo surge de la confluencia de los ríos Jatunyacu (río Grande) y Anzu, en el distrito peruano de Napo, provincia de Maynas, departamento de Loreto, aunque la fuente original está situada en Ecuador.

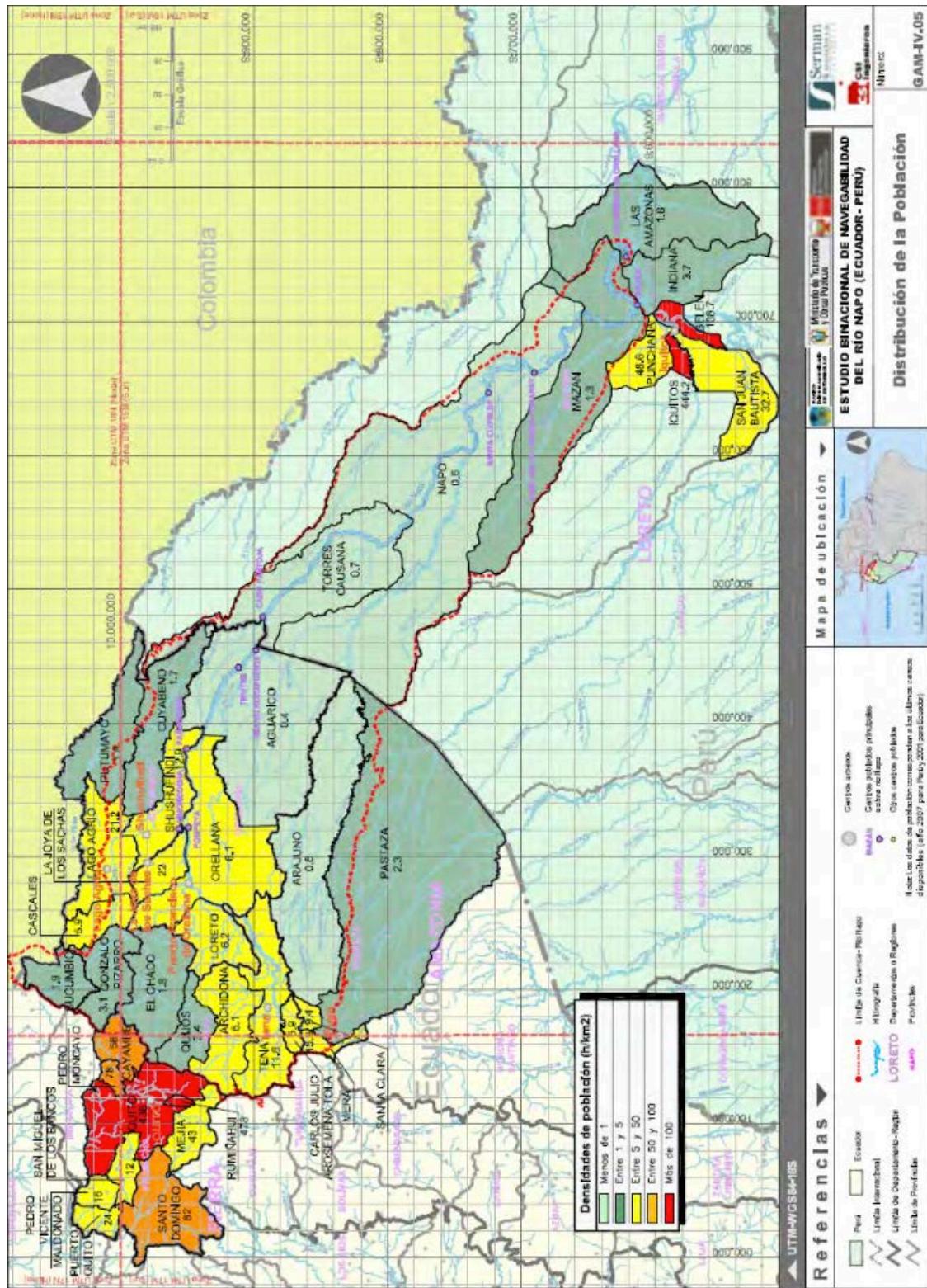


Figura 3.17: El río Napo (Banco Interamericano de Desarrollo, 2010)

El Napo es uno de los principales afluentes directos al río Amazonas. Con una longitud de 1.130 km, recorre buena parte de los territorios amazónicos de Ecuador y Perú, de los cuales 667 km corresponden a territorio peruano.

La cuenca del río pasa por tres distritos de la provincia de Maynas antes de confluir con el Amazonas: el primero (Torres Causana) corresponde al “Alto Napo peruano”, el segundo (Napo) corresponde al “Medio Napo peruano” y el tercero (Mazán) al “Bajo Napo peruano”. La mayor población se concentra en Napo y Mazán, por su mayor proximidad a Iquitos y su mayor desarrollo relativo (dado que el único medio de comunicación es el propio río Napo).

Este proyecto se centrará en el distrito de Napo, o “Medio Napo peruano”.



Figura 3.18: Confluencia del río Napo con el Amazonas peruano (Collart Hervé - Getty Images)

3.2.4. Análisis Demográfico

La población de estos tres distritos representa aproximadamente el 0,12% de la población total de Perú (37.000 habitantes), con una densidad de población de 0,6 hab/km² para Napo y 1,3 hab/km² para Mazán. Los jóvenes suponen el 45% de la población. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2010).

A través de los esfuerzos de los gobiernos locales y regionales, que intentan dotar cada vez más de servicios básicos a las comunidades, las poblaciones rurales de estos distritos disminuyeron en los últimos 10 años entre un 5-15%, centrándose cada vez más en núcleos urbanos, según datos del Banco Interamericano de Desarrollo.

Los distritos mantienen un comportamiento similar en términos de urbanización, y esto se aplica a la educación. Para la población rural, el 50% de la población ha aprobado solamente el nivel primario, y solo el 2% ha superado el nivel educativo superior. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2010).

Con respecto a la población mayor de 3 años de edad que no sabe leer ni escribir, en la cuenca del río Napo se tiene que, conforme se acerca a la ciudad de Iquitos, la tasa de analfabetismo desciende.

Aproximadamente un 50% de la población no tiene seguro de salud a lo largo de toda la provincia de Maynas.

El 71% de las viviendas particulares en los tres distritos de la cuenca del Napo son propiedad de sus habitantes, y el 14% son viviendas ocupadas o invadidas.



Figura 3.19: Pescadores en el río Napo (Jeffrey L. Rotman - Getty Images)

3.2.5. Análisis Económico

El PIB de Maynas en el 2008 fue aproximadamente un 32% del total departamental, y solamente un 0,5% del nacional (Banco Interamericano de Desarrollo, 2010). No obstante, la mayor fuente de actividad económica es la ciudad de Iquitos, y no los distritos por los que pasa el río Napo, que se caracterizan por un desarrollo económico muy poco significativo.

La ocupación principal en la región del Napo corresponde a “agricultores, trabajadores calificados agropecuarios y pesqueros” y a “trabajadores no calificados de servicios: peón, vendedores y afines”.

Esto es problemático para la población de Napo ya que, los poblados se encuentran en las riberas del río, y se ven frecuentemente afectados por inundaciones que ocasionan la pérdida de cultivos, viviendas e instalaciones de servicios urbanos.

Industria	Loreto	Nacional	Porcentaje del Total Nacional	Loreto	Nacional
Agricultura, Caza y Silvicultura	226.131	6.696.677	3,40%	15,2%	7,7%
Pesca	16.512	425.515	3,90%	1,1%	0,5%
Minería	95.352	4.996.753	1,90%	6,4%	5,7%
Manufactura	195.251	13.581.312	1,40%	13,2%	15,6%
Electricidad y Agua	32.553	1.760.716	1,80%	2,2%	2,0%
Construcción	67.099	5.163.679	1,30%	4,5%	5,9%
Comercio	251.560	13.093.149	1,90%	16,9%	15,0%
Transporte y Comunicaciones	114.126	7.773.397	1,50%	7,7%	8,9%
Restaurantes y Hoteles	91.147	3.296.989	2,80%	6,1%	3,8%
Servicios Gubernamentales	163.678	4.891.544	3,30%	11,0%	5,6%
Otros Servicios	230.776	17.017.567	1,40%	15,5%	19,5%
Valor Agregado Bruto	1.484.185	87.143.252	1,70%	100,0%	100,0%

Figura 3.20: Valor Agregado Bruto por industria para el departamento de Loreto (INEI, 2008)

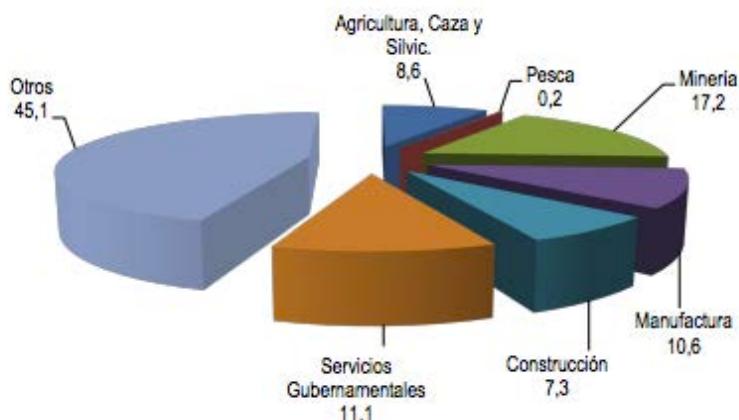


Figura 3.21: Estructura porcentual del VAB en el departamento de Loreto (INEI, 2012)

En cuanto a la disponibilidad de servicios básicos – servicios de agua potable, saneamiento y electricidad – se presenta una muy baja cobertura en la cuenca del Napo. Las viviendas que cuentan con servicio de agua potable representan un 8%, las que poseen servicio de saneamiento un 3% y las que disponen de servicio de electricidad un 22%. En el resto de la provincia de Maynas, la situación es bastante mejor: el 48% de las viviendas posee servicio de agua potable, mientras que los porcentajes que disponen de servicio de saneamiento y electricidad resultan en 49% y 78%, respectivamente.

El objetivo de las siguientes secciones será estudiar cómo, a través de mejorar el acceso a los servicios de electricidad y agua potable, se puede mejorar la situación del distrito de Napo. Esto no solo se verá reflejado en el capital económico de la región, como se estudiará en el Capítulo 6, sino también en el capital natural y social.

3.2.6. Poblados Ribereños

Para el presente proyecto, fue necesario hacer un estudio exhaustivo de la localización exacta de los poblados en la ribera del río. A través de distintas fuentes, se construyó un mapa en Google Maps, ahora accesible al público a través del siguiente enlace:

<https://drive.google.com/open?id=1uB10AcMMuT0RGX8jYKt4pcycwNM&usp=sharing>

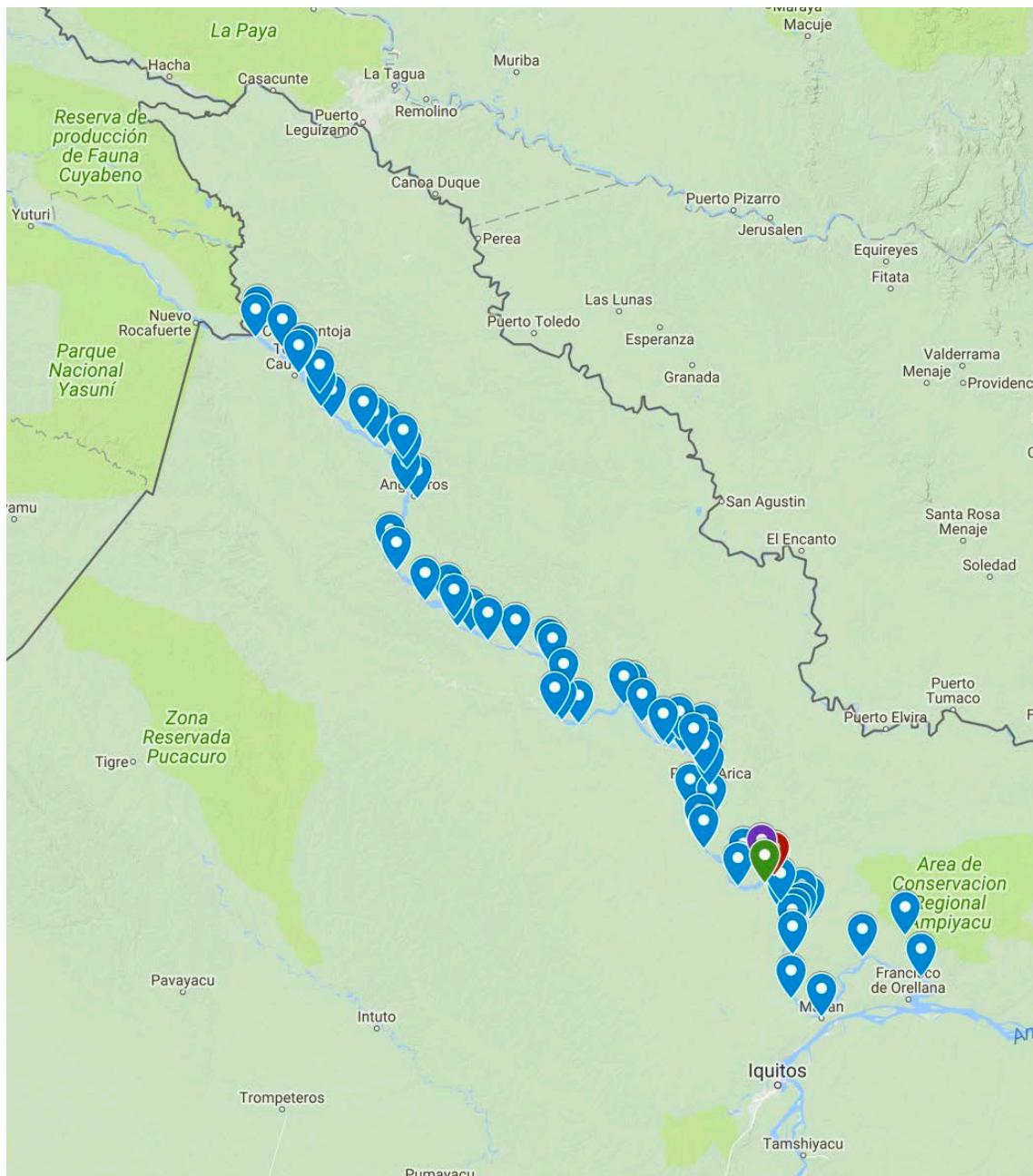


Figura 3.22: Localización de los poblados en la ribera del río Napo

En el mapa online se puede encontrar información en detalle sobre las coordenadas de los poblados, así como su nombre y su última población censada, de acuerdo a los datos del Sistema de Información sobre Comunidades Nativas de la Amazonía Peruana (SICNA).

3.2.6.1. Poblados Afectados

En este proyecto, y dada la gran extensión del río Napo (1.130km de longitud), los esfuerzos en mejora de acceso a electricidad y agua potable se han centrado en una pequeña región del río Napo, dentro del distrito de Napo.

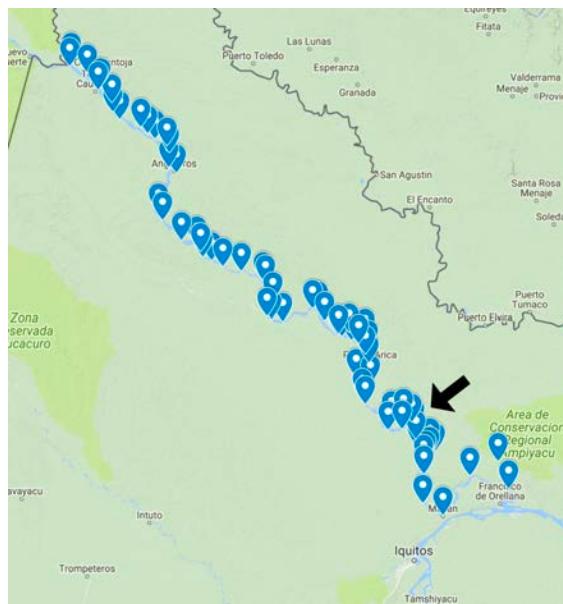


Figura 3.23: Localización de la región de estudio dentro del río Napo

Los poblados ribereños afectados por el proyecto son aquellos beneficiados por el programa “Luz en Casa Amazonía” de Acciona Microenergía Perú (descrito en 5.2.2): Vencedores de Zapote, Nueva Unión y Nuevo Antioquía; así como otros tres que se encuentran situados en un radio inferior a 10km: Huitotos de Negro Urco, Negro Urco y Nueva Floresta.

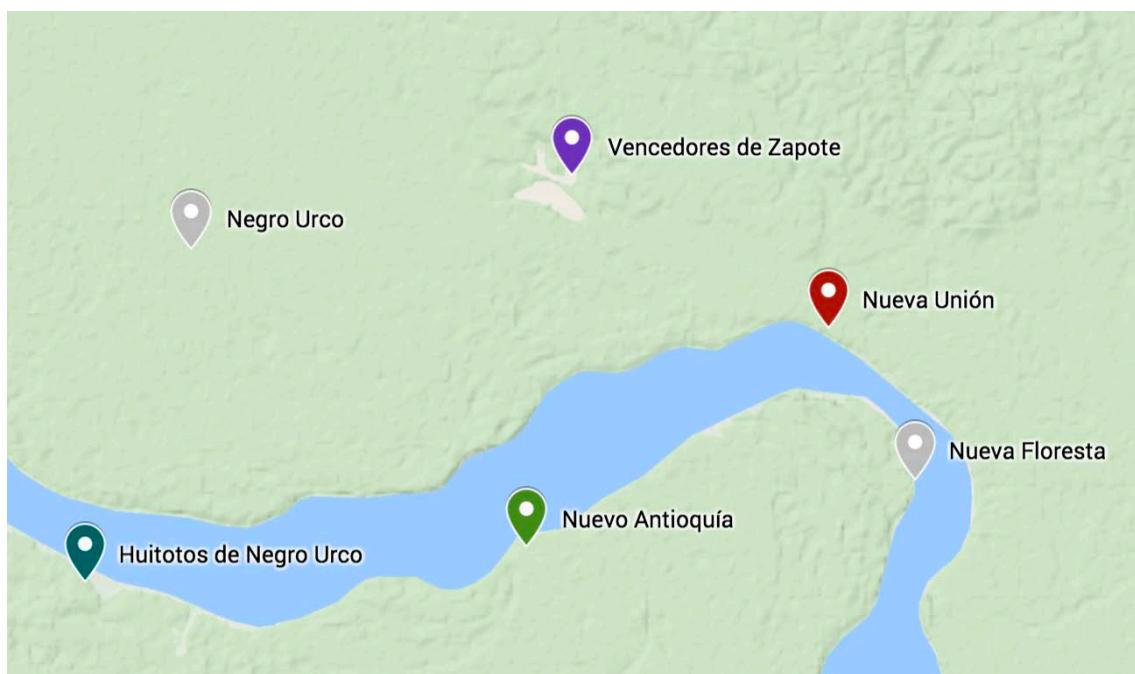


Figura 3.24: Vista en detalle de los poblados afectados por el proyecto

Capítulo 4. – Acceso a Agua Potable

4.1. Situación Actual de Acceso

Perú es un país con importantes excedentes hídricos, y posee aproximadamente 4% de los recursos del planeta. La disponibilidad y uso de estos recursos presenta fuertes desequilibrios territoriales, y persisten dificultades para lograr una gestión integrada y ambientalmente sostenible de los mismos.

En cuanto a las coberturas de agua potable, existe una brecha de acceso entre las zonas rurales, donde la cobertura es de 40%, y urbanas, donde llega a 89%. Lo mismo se observa en cuanto a saneamiento, con una cobertura urbana de 84% y rural de 45%. La tasa de tratamiento de aguas servidas es baja en comparación a la región, y solo el 32,7% del total de aguas residuales recibe tratamiento, con muy baja cobertura en las zonas rurales. Sólo el 43,5% de los residuos sólidos urbanos son dispuestos en rellenos sanitarios, mientras el resto es dispuesto mayoritariamente en botaderos a cielo abierto. (BID, 2012)

Las brechas descritas son consecuencia de la ausencia de un enfoque integral que enfrente el creciente desbalance entre oferta y demanda de agua por regiones geográficas, el desequilibrio entre el uso agrícola y no agrícola, el deterioro de la calidad y del medio ambiente, y la racionalización de su uso. Asimismo, aún existen dificultades institucionales para expandir las coberturas de agua y saneamiento, y de parte de las municipalidades como responsables de la gestión local de los residuos sólidos

Dentro de los tres distritos por los que pasa el río Napo (Torres Causana, Napo y Mazán), la cobertura es la siguiente:

Distrito	Viviendas				
	Total	Con servicio de agua potable	%	Con servicio de saneamiento	%
Torres Causana	808	39	4,8%	8	1,0%
Napo	2491	113	4,5%	111	4,5%
Mazán	2413	314	13,0%	69	2,9%

Figura 4.1: Datos de acceso a servicios de agua potable y saneamiento en el río Napo (BID, 2012)

Para poder mejorar la situación de acceso en los poblados mencionados en 3.2.6.1, se procede al estudio de la calidad del agua superficial en el río Napo, para posteriormente diseñar una ETAP que sea capaz de proporcionar agua potable a la población.

4.2. Calidad del Agua Superficial en el Río Napo

En noviembre de 2015, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) a través de la Administración Local del Agua de Iquitos, realizó un monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en 23 puntos diferentes a lo largo de la cuenca del río Napo.

En este monitoreo participaron tanto profesionales de ANA como representantes de diferentes instituciones regionales y locales.

Item	Código de Monitoreo	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS UTM (WGS -84)		Altitud (m.s.n.m.)
			Este	Norte	
1	RNapo1	Río Napo, aguas arriba del Centro Poblado Cabo Pantoja (Cerca de la frontera con Ecuador)	479321	9892668	177
2	RNapo2	Río Napo, aguas debajo de la Comunidad de Cabo Pantoja.	480979	9892582	174
3	RNapo3	Río Napo, aguas debajo del Centro Poblado Chingana	533250	9845960	152
4	RSMari1	Río Santa María, antes de la confluencia al río Napo	541424	9842209	153
5	RNapo4	Río Napo, aguas debajo del Centro Poblado Carmunguy	540153	9819860	147
6	RYana1	Río Yanayacu (río Aushiri), antes de la confluencia con el río Napo	531778	9802505	148
7	RNapo5	Río Napo, aguas debajo del Centro Poblado Puerto Elvira	550252	9782882	143
8	QYana1	Quebrada Yanayacu, antes de la confluencia al río Napo	580106	9764085	132
9	QTara1	Quebrada Tarapoto, antes de la confluencia al río Napo	596402	9763298	129
10	RNapo6	Río Napo, aguas abajo del Centro Poblado Sumac Alpa	606211	9745867	130
11	RCur1	Río Curaray, antes de la confluencia al río Napo	599354	9741606	129
12	RNapo7	Río Napo, aguas abajo del Centro Poblado Santa Clotilde	615584	9733796	124
13	RNapo8	Río Napo, frente al Centro Poblado Santa Clotilde	647940	9724702	114
14	RTamb1	Río Tamborayacu, antes de la confluencia al río Napo	656141	9727366	112
15	RNapo9	Río Napo, aguas abajo del Centro Poblado Lagarto Cocha	663308	9707347	116
16	RTacs1	Río Tacsha curaray, antes de la confluencia con el río Napo	661206	9691811	108
17	RNapo10	Río Napo, aguas abajo del Centro Poblado Huitotos de Negro Urco	681213	9665287	107
18	RNapo11	Río Napo, aguas abajo del Centro Poblado Oro Blanco	701400	9643855	97
19	RMaz1	Río Mazan, antes de la confluencia con el río Napo	710675	9612762	90
20	RNapo12	Río Napo, aguas debajo de la localidad de Mazan	713139	9614322	94
21	RNapo13	Río Napo, aguas abajo del Centro Poblado Bagazan	713139	9614322	93
22	RSucu1	Río Sucusari, antes de la confluencia con el río Napo	731374	9639108	93
23	RNapo14	Río Napo, antes de la confluencia con el río Amazonas	752811	9623114	80

Figura 4.2: Cuadro con puntos de monitoreo de la calidad del agua superficial en el río Napo (ANA, 2016)

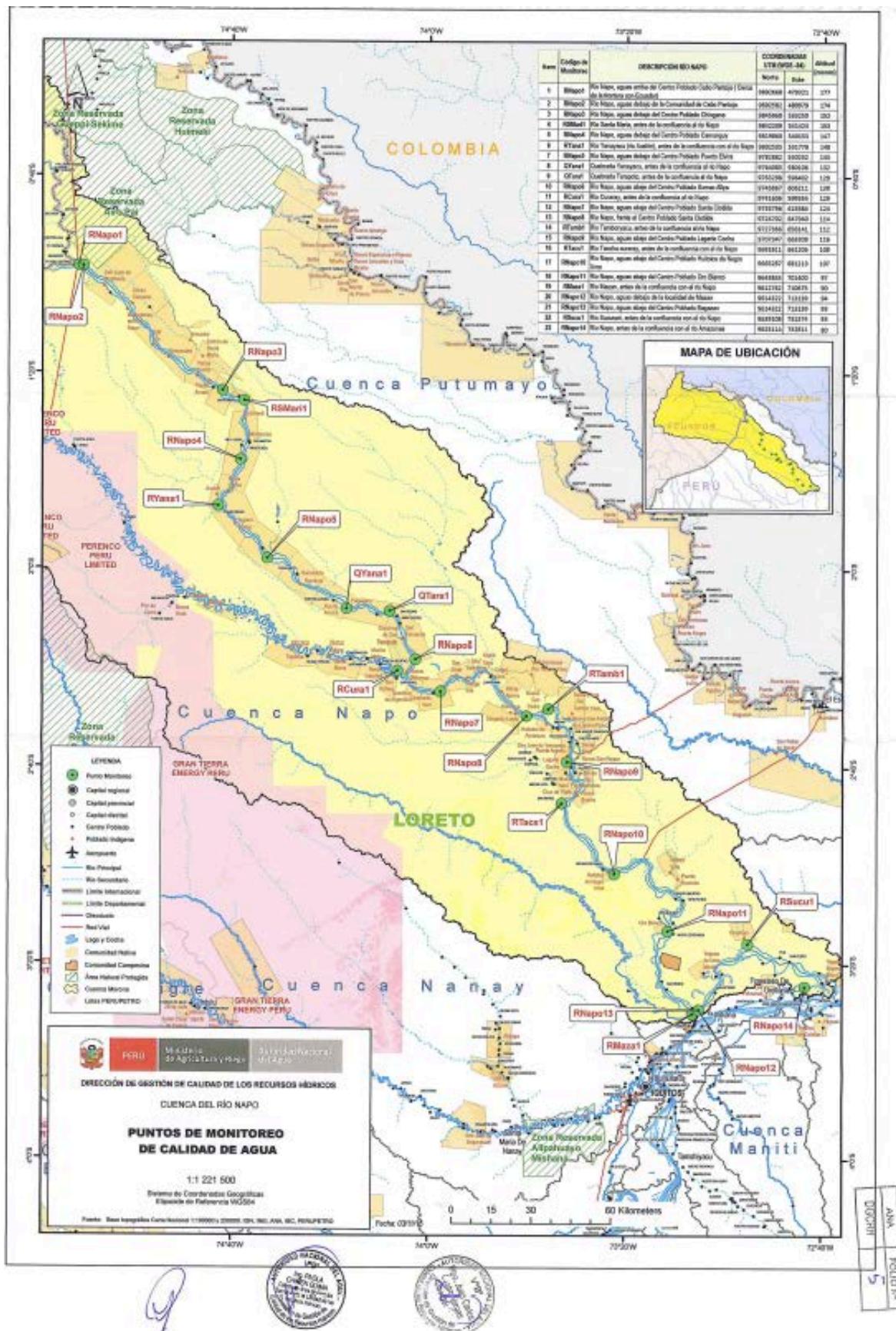


Figura 4.3: Plano con puntos de monitoreo de la calidad del agua superficial en el río Napo (ANA, 2016)

Los parámetros analizados fueron los siguientes:

- pH, Oxígeno disuelto, Temperatura, Conductividad eléctrica
- Cloruros, Aceites y Grasas
- Hidrocarburo totales de petróleo
- Sólidos Suspensidos Totales
- Corrida de metales totales (Al, Sb, As, Ba, B, Be, Ca, Cd, Cr, Cu, Co, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Ag, Sb, Se, Sn, Sr, Tl, Ti, V, Zn, etc.)
- Mercurio

El laboratorio encargado de hacer el análisis fue NSF Envirolab S.A.C., el cuál está acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro Nº LE-011. Los análisis fueron realizados con el equipo multiparámetro marca Odeon-Ponsel de serie 602264710040/código SN-ODEOA-1047.

En las figuras: Figura 4.4: Resultados de parámetros de calidad del agua río Napo, parte 1 (ANA, 2016)" y "Figura 4.5: Resultados de parámetros de calidad del agua río Napo, parte 2 (ANA, 2016)", se muestran los resultados de los informes de ensayo, con valor oficial de número J-00200112. Para la evaluación de los parámetros se tomó como referencia el Decreto Supremo Nº 002-2008-MINAM "Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua".

Como puede verse, de los 38 parámetros evaluados, hay 3 que exceden los límites marcados por el ECA-Agua Categoría 4 en varios puntos de monitoreo: pH, Oxígeno Disuelto y Sólidos Totales en Suspensión.

El pH excedió los límites de 6,5 - 8,5 en ocho puntos (RSMari1, RYana1, QYana1, QTara1, QTamb1, RTacs1, RMaza1, RSucu1) de los 23. La transgresión fue ligeramente ácida, lo que probablemente esté relacionado con la presencia de materia orgánica en descomposición, en donde por procesos microbiológicos se producen ácidos fulvicos, húmicos y humina (ANA, 2016).

La concentración del Oxígeno Disuelto superó los límites de ≥ 5 en cuatro puntos de control (RSMari1, QYana1, QTara1 y RSucu1) de los 23. Esta transgresión puede deberse a factores como la temperatura, el lento desplazamiento del flujo del cuerpo de agua, actividad de procesos fotosintéticos, material orgánico de origen animal y vegetal en descomposición, etc. Estas características están presentes en el río Santa María, Quebrada Yanayacu y la Quebrada Tarapoto, cuyas aguas son conocidas como "aguas negras" (ANA, 2016).

La concentración de los Sólidos Totales en Suspensión (STS) trasgrede el límite de ≤ 25 en la mayoría de los puntos de monitoreo. Esto es debido a la erosión de la superficie del terreno, erosión de los cauces principales y tributarios, fenómenos de lluvias y destrucción de vegetales. (ANA, 2016)

Por último, no se registraron concentraciones de metales pesados que excediesen los ECA-Agua Cat.4 en ninguno de los puntos monitoreados.

Punto de Muestreo	Unidad	ECA-Agua: Categoría 4 "Conservación del Ambiente Acuático" Ríos de la Selva	RNapo1	RNapo2	RNapo3	RSMari1	BNapo4	RYana1	RNapo5	QYana1	QTara1	RNapo6	RCura1	RNapo7
Fecha de Muestreo			13/11/15	13/11/15	13/11/15	13/11/15	14/11/15	14/11/15	14/11/15	14/11/15	14/11/15	14/11/15	14/11/15	14/11/15
Hora de Muestreo			9:50:00am	10:45:00am	02:30:00pm	03:20:00pm	03:10:00am	08:05:00am	10:05:00am	11:45:00am	01:10:00pm	02:05:00pm	02:40:00pm	03:30:00pm
Parámetro			Resultados											
Parámetros de Campo														
pH	Unidad	6,5-8,5	7,89	7,15	7,34	5,85	7,13	5,47	6,69	4,91	5,61	6,67	6,68	6,91
O2 Disuelto	mg/L	>=5	7,71	7,35	7,99	4,58	7,92	5,27	7,73	3,78	4,05	7,66	7,52	8,07
Temperatura	T°C	△3	27,80	27,60	28,58	25,93	27,91	25,69	27,70	26,32	27,59	30,05	29,44	29,44
CE	us/cm	---	13,91	54,22	7,99	5,35	54,90	5,70	44,32	26,32	49,01	49,01	31,54	34,54
Parámetros de Laboratorio														
Aceites y Grasas (2L)	mg/L	Sin película visible	ND(<1)											
Cloruros	mg/L	---	0,6	ND(<0,25)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,6	ND(<0,25)	0,6
STS	mg/L	<=25	147	266	164	10	155	8	140	ND(<1)	6	100	64	159
HTP (C10-C40)	mg/L	Ausente	ND(<0,2)	ND(<0,2)	N.R.	ND(<0,2)	N.R.							
Al Total	mg/L	---	1,959	2,975	2,168	0,284	2,147	0,286	2,146	0,153	0,181	1,71	0,84	1,738
Sb Total	mg/L	---	ND(<0,006)											
As Total	mg/L	0,05	ND(<0,007)											
Ba Total	mg/L	1	0,051	0,076	0,054	0,016	0,05	0,012	0,05	0,005	0,012	0,042	0,035	0,048
Be Total	mg/L	---	ND(<0,0005)											
B Total	mg/L	---	ND(<0,008)											
Cd Total	mg/L	0,004	ND(<0,001)											
Ca Total	mg/L	---	8,21	8,892	7,835	1,019	7,355	0,613	7,655	0,315	1,309	6,796	2,718	6,391
Co Total	mg/L	---	ND(<0,001)	0,002	0,001	ND(<0,001)	0,001	ND(<0,001)	0,001	ND(<0,001)	ND(<0,001)	ND(<0,001)	ND(<0,001)	0,001
Cu Total	mg/L	0,02	0,009	0,012	0,0096	0,003	0,01	0,003	0,0098	0,002	0,003	0,008	0,005	0,0096
Cr Total	mg/L	0,05	0,002	0,003	0,002	ND(<0,001)	0,002	ND(<0,001)	0,002	ND(<0,001)	ND(<0,001)	ND(<0,001)	0,002	0,002
Sn Total	mg/L	---	ND(<0,003)											
Sr Total	mg/L	---	0,0522	0,0512	0,0535	0,0127	0,0518	0,006	0,0521	0,0022	0,0142	0,0481	0,03	0,0478
P Total	mg/L	0,5	0,13	0,26	0,16	0,03	0,14	0,02	0,14	0,01	0,03	0,11	0,04	0,12
Fe Total	mg/L	---	2,626	4,52	2,873	0,872	2,838	0,813	2,767	0,841	1,217	2,223	1,914	2,778
Li Total	mg/L	---	0,002	0,002	0,002	ND(<0,001)	0,002	ND(<0,001)	0,001	ND(<0,001)	ND(<0,001)	0,001	ND(<0,001)	0,001
Mg Total	mg/L	---	1,634	2,176	1,738	0,401	1,638	0,253	1,677	0,086	0,446	1,466	1,056	1,541
Mn Total	mg/L	---	0,092	0,144	0,111	0,062	0,114	0,042	0,108	0,016	0,056	0,085	0,06	0,101
Mo Total	mg/L	---	ND(<0,002)											
Ni Total	mg/L	0,025	0,003	0,004	0,003	ND(<0,002)	0,002	ND(<0,002)	0,002	ND(<0,002)	ND(<0,002)	0,002	ND(<0,002)	0,003
Ag Total	mg/L	---	ND(<0,002)											
Pb Total	mg/L	0,001	ND(>0,001)											
K Total	mg/L	---	1,85	2,15	1,81	0,64	1,71	0,4	1,74	0,12	0,38	1,56	0,76	1,58
Se Total	mg/L	---	ND(<0,006)											
Na Total	mg/L	---	2,09	1,62	2,04	0,55	2,12	0,27	2,14	0,1	0,82	1,93	1,46	2,01
Tl Total	mg/L	---	ND(<0,007)											
Ti Total	mg/L	---	0,082	0,153	0,092	0,006	0,086	0,003	0,083	0,002	0,002	0,066	0,025	0,082
V Total	mg/L	---	0,007	0,011	0,008	0,001	0,007	ND(<0,001)	0,007	ND(<0,001)	ND(<0,002)	0,006	0,005	0,008
Zn Total	mg/L	0,3	0,016	0,02	0,012	0,005	0,014	0,004	0,015	ND(<0,004)	0,007	0,012	0,009	0,025
Hg Total	mg/L	0,0001	ND(<0,0001)											

---: Concentración de Parámetros que no se encuentran establecidos en el ECA-Agua Categoría 4: "Conservación del Ambiente Acuático" Ríos de la Selva.

Concentración de parámetros comparados con el D.S. N°002-2008-MINAM "Aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua"

N.R.: No Registrado

N.D.<: Significa menor al límite de cuantificación indicado.

△3: Variación de tres grados Celsius, respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

>=, <=: Mayor o igual, Menor o igual

Mayor al ECA-Agua Cat 4/ no cumple con el ECA-Agua

Figura 4.4: Resultados de parámetros de calidad del agua río Napo, parte 1 (ANA, 2016)

Punto de Muestreo	Unidad	ECA-Agua: Categoría 4 "Conservación del Ambiente Acuático" Ríos de la Selva	RNapo8	RTaraB1	RNapo9	RTacs1	RNapo10	RNapo11	RMaza1	RNapo12	RNapo13	RSucu1	RNapo14	
Fecha de Muestreo			14/11/15	14/11/15	15/11/15	15/11/15	15/11/15	15/11/15	15/11/15	16/11/15	16/11/15	16/11/15	16/11/15	
Hora de Muestreo			05:50:00pm	08:25:00am	09:35:00am	10:20:00am	11:40:00am	01:45:00pm	03:11:00pm	08:50:00am	09:40:00am	11:50:00am	12:30:00pm	
Parámetro			Resultados											
Parámetros de Campo														
pH	Unidad	6,5-8,5	6,95	5,60	6,83	5,60	6,64	6,82	6,10	6,99	6,91	5,97	6,69	
O2 Disuelto	mg/L	>=5	8,31	7,25	7,84	5,05	7,94	7,63	6,94	7,52	6,66	4,93	7,56	
Temperatura	T°C	△3	23,32	26,60	28,60	26,94	28,34	28,52	27,77	28,27	28,26	25,63	28,66	
CE	us/cm	---	32,54	35,73	41,87	3,11	39,64	42,28	3,69	0,00	40,56	7,53	41,42	
Parámetros de Laboratorio														
Aceites y Grasas (2L)	mg/L	Sin película visible	ND(<1)											
Cloruros	mg/L	---	0,6	0,7	0,4	ND(<0,25)	ND(<0,25)	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	ND(<0,25)	
STS	mg/L	<=25	174	51	146	10	140	195	30	126	124	25	266	
HTP (C10-C40)	mg/L	Ausente	ND(<0,2)	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	ND(<0,2)	N.R.	N.R.	ND(<0,2)		
Al Total	mg/L	---	1,777	1,236	1,932	0,3	1,739	0,273	0,475	1,746	1,719	0,537	2,228	
Sb Total	mg/L	---	ND(<0,006)											
As Total	mg/L	0,05	ND(<0,007)											
Ba Total	mg/L	1	0,051	0,034	0,049	0,009	0,048	0,06	0,012	0,047	0,044	0,012	0,057	
Be Total	mg/L	---	ND(<0,0005)											
B Total	mg/L	---	ND(<0,008)											
Cd Total	mg/L	0,004	ND(<0,001)											
Ca Total	mg/L	---	5,708	5,079	5,871	1,102	5,794	6,016	1,93	5,468	5,373	1,367	5,815	
Co Total	mg/L	---	0,001	ND(<0,001)	0,001	ND(<0,001)	0,001	0,001	ND(<0,001)	0,001	ND(<0,001)	ND(<0,001)	0,001	
Cu Total	mg/L	0,02	0,0095	0,007	0,012	0,003	0,009	0,012	0,004	0,009	0,008	0,003	0,01	
Cr Total	mg/L	0,05	0,002	0,002	0,002	ND(<0,001)	0,002	0,002	ND(<0,001)	0,002	0,002	ND(<0,001)	0,002	
Sn Total	mg/L	---	ND(<0,003)											
Sr Total	mg/L	---	0,0446	0,0382	0,457	0,0047	0,0435	0,0476	0,0061	0,0427	0,0412	0,0068	0,0465	
P Total	mg/L	0,5	0,14	0,08	0,12	0,02	0,13	0,17	0,03	0,12	0,11	0,03	0,15	
Fe Total	mg/L	---	2,988	1,711	2,796	0,614	2,854	3,654	1,052	2,855	2,441	0,901	3,523	
Li Total	mg/L	---	0,001	ND(<0,001)	0,001	ND(<0,001)	0,001	0,002	ND(<0,001)	0,001	0,001	ND(<0,001)	0,001	
Mg Total	mg/L	---	1,55	1,17	1,517	0,163	1,504	1,749	0,206	1,491	1,37	0,367	1,666	
Mn Total	mg/L	---	0,108	0,056	0,106	0,034	0,105	0,137	0,037	0,101	0,087	0,06	0,126	
Mo Total	mg/L	---	ND(<0,002)											
Ni Total	mg/L	0,025	0,002	ND(<0,002)	0,002	ND(<0,002)	0,002	0,003	ND(<0,002)	0,003	ND(<0,002)	ND(<0,002)	0,003	
Ag Total	mg/L	---	ND(<0,002)											
Pb Total	mg/L	0,001	ND(>0,001)											
K Total	mg/L	---	1,36	1,2	1,39	0,42	1,38	1,44	0,44	1,3	1,28	0,58	1,38	
Se Total	mg/L	---	ND(<0,006)											
Na Total	mg/L	---	1,78	1,76	1,79	0,14	1,78	1,8	0,3	1,69	1,65	0,38	1,79	
Tl Total	mg/L	---	ND(<0,007)											
Ti Total	mg/L	---	0,084	0,047	0,08	0,002	0,079	0,112	0,003	0,084	0,069	0,004	0,108	
V Total	mg/L	---	0,008	0,005	0,007	ND(<0,002)	0,007	0,009	0,001	0,007	0,006	ND(<0,002)	0,008	
Zn Total	mg/L	0,3	0,014	0,009	0,013	0,005	0,016	0,015	0,011	0,016	0,015	0,009	0,018	
Hg Total	mg/L	0,0001	ND(<0,0001)											

---: Concentración de Parámetros que no se encuentran establecidos en el ECA-Agua Categoría 4: "Conservación del Ambiente Acuático" Ríos de la Selva.

Concentración de parámetros comparados con el D.S. N°002-2008-MINAM "Aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua"

N.R.: No Registrado

N.D.: Significa menor al límite de cuantificación indicado.

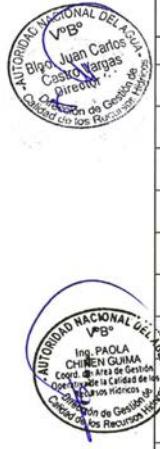
△3: Variación de tres grados Celsius, respecto al promedio mensual multianual del área evaluda.

>=, <=: Mayor o igual, Menor o igual

Mayor al ECA-Agua Cat 4/ no cumple con el ECA-Agua

Figura 4.5: Resultados de parámetros de calidad del agua río Napo, parte 2 (ANA, 2016)

En la figura “Figura 4.6: Resumen de los parámetros que exceden los ECA-AGUA CAT-4 en el río Napo (ANA, 2016)” se muestra un cuadro resumen con la evaluación de los resultados en cada punto de monitoreo.




Item	Código de Monitoreo	DESCRIPCIÓN RÍO NAPO	COORDENADAS UTM (WGS -84)		Parámetros que exceden los ECA-Agua Categoría 4
			Norte	Este	
1	RNapo1	Río Napo, aguas arriba del Centro Poblado Cabo Pantoja (Cerca de la frontera con Ecuador)	9892668	479321	Sólidos Totales en Suspensión.
2	RNapo2	Río Napo, aguas debajo de la Comunidad de Cabo Pantoja.	9892582	480979	Sólidos Totales en Suspensión.
3	RNapo3	Río Napo, aguas debajo del Centro Poblado Chingana	9845960	533250	Sólidos Totales en Suspensión.
4	RSMari1	Río Santa María, antes de la confluencia al río Napo	9842209	541424	pH, Oxígeno disuelto
5	RNapo4	Río Napo, aguas debajo del Centro Poblado Camunguy	9819860	540153	Sólidos Totales en Suspensión.
6	RYana1	Río Yanayacu (río Aushiri), antes de la confluencia con el río Napo	9802505	531778	pH.
7	RNapo5	Río Napo, aguas debajo del Centro Poblado Puerto Elvira	9782882	550252	Sólidos Totales en Suspensión.
8	QYana1	Quebrada Yanayacu, antes de la confluencia al río Napo	9764085	580106	pH, Oxígeno disuelto
9	QTara1	Quebrada Tarapoto, antes de la confluencia al río Napo	9763298	596402	pH, Oxígeno disuelto
10	RNapo6	Río Napo, aguas abajo del Centro Poblado Sumac Alpa	9745867	606211	Sólidos Totales en Suspensión.
11	RCura1	Río Curaray, antes de la confluencia al río Napo	9741606	599354	Sólidos Totales en Suspensión.
12	RNapo7	Río Napo, aguas abajo del Centro Poblado Santa Clotilde	9733796	615584	Sólidos Totales en Suspensión.
13	RNapo8	Río Napo, frente al Centro Poblado Santa Clotilde	9724702	647940	Sólidos Totales en Suspensión.
14	RTamb1	Río Tamboryacu, antes de la confluencia al río Napo	9727366	656141	pH, Sólidos Totales en Suspensión
15	RNapo9	Río Napo, aguas abajo del Centro Poblado Lagarto Cocha	9707347	663308	Sólidos Totales en Suspensión.
16	RTacs1	Río Tacsha curaray, antes de la confluencia con el río Napo	9691811	661206	pH.
17	RNapo10	Río Napo, aguas abajo del Centro Poblado Huitotos de Negro Urco	9665287	681213	Sólidos Totales en Suspensión.
18	RNapo11	Río Napo, aguas abajo del Centro Poblado Oro Blanco	9643855	701400	Sólidos Totales en Suspensión.
19	RMaza1	Río Mazan, antes de la confluencia con el río Napo	9612762	710675	pH, Sólidos Totales en Suspensión
20	RNapo12	Río Napo, aguas debajo de la localidad de Mazan	9614322	713139	Sólidos Totales en Suspensión.
21	RNapo13	Río Napo, aguas abajo del Centro Poblado Bagazan	9614322	713139	Sólidos Totales en Suspensión.
22	RSucu1	Río Sucusari, antes de la confluencia con el río Napo	9639108	731374	pH, Oxígeno disuelto
23	RNapo14	Río Napo, antes de la confluencia con el río Amazonas	9623114	752811	Sólidos Totales en Suspensión.

Figura 4.6: Resumen de los parámetros que exceden los ECA-AGUA CAT-4 en el río Napo (ANA, 2016)



Figura 4.7: Puntos de muestreo QYana1 y RSMari1 (Alto Napo), de izq. a dcha. (ANA, 2016)



Figura 4.8: Puntos de muestreo QTara1 (Medio Napo) y RSucu1 (río Sucusari antes de la confluencia con el Bajo Napo). (ANA, 2016)

Siguiendo las recomendaciones del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2012), los esfuerzos relacionados con la potabilización y el saneamiento de aguas en el río Napo deben centrarse en:

- (i). Mejorar el manejo y gestión integrada de los recursos hídricos, incluyendo temas de derechos de agua, cambio climático, eficiencia energética, estrategia financiera, cultura del agua y manejo de acuerdo a la estacionalidad y calidad, y vulnerabilidad del recurso hídrico frente a los retos del cambio climático.
- (ii). Apoyar la implementación de la política sectorial en agua y saneamiento, con el objetivo de avanzar hacia la universalización del acceso al servicio de agua potable, para reducir las brechas entre las zonas urbanas y ruralesApoyar la expansión de cobertura de recolección y tratamiento de aguas servidas y el aumento de conexiones intra-domiciliarias,
- (iii). Aumentar la eficiencia de las empresas prestadoras de servicios públicos en el sector y apoyar a los municipios en la creación de empresas municipales eficientes.
- (iv). Aumentar la tasa de formalización entre recicladores .
- (v). Implementar el enfoque de adaptación al cambio climático en el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos, incluyendo el fortalecimiento del sistema de información hidro-meteorológica en él.

En esta línea, y con relación a la recomendación (i), se propondrá en el siguiente apartado un modelo de potabilización a través de una ETAP para la zona entre los puntos de monitoreo RNapo10 y RNapo 11, donde se encuentran los poblados mencionados en 3.2.6.1..

En la figura Figura 4.9: Localización de los poblados ribereños entre los puntos de monitoreo de la calidad del agua RNapo10 y RNapo11 se puede ver la localización de los dos puntos de monitoreo (RNapo10 y RNapo11) y los poblados entre ambos, incluyendo aquellos beneficiados por el presente proyecto.

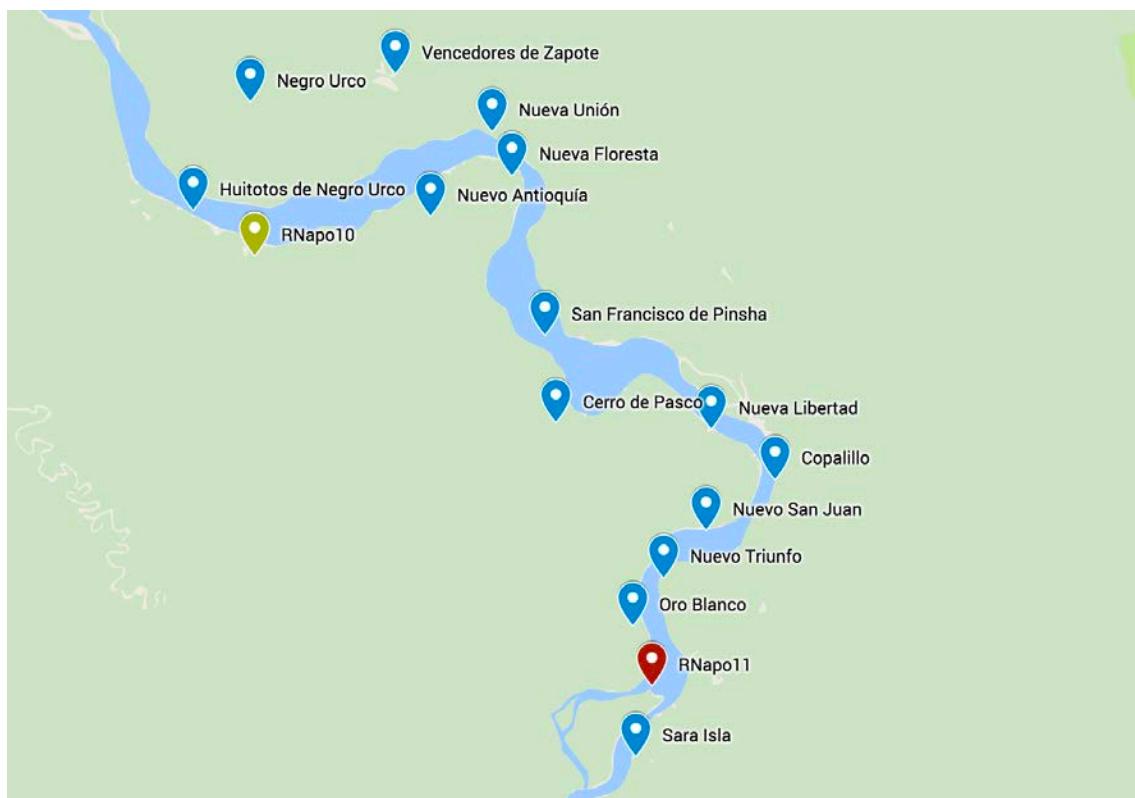


Figura 4.9: Localización de los poblados ribereños entre los puntos de monitoreo de la calidad del agua RNapo10 y RNapo11 (Google Maps, 2017)

La posición sugerida para la ETAP aquí dimensionada aparece en la siguiente imagen.



Figura 4.10: Localización de los poblados ribereños tenidos en cuenta para el diseño de la ETAP y su relación con el punto de monitoreo RNapo10 (Google Maps, 2017)

4.3. Diseño de una ETAP

Puesto que el agua bruta proviene de aguas fluviales, se propone un diseño compuesto por desbaste, pretratamiento, tratamiento estándar y desinfección.

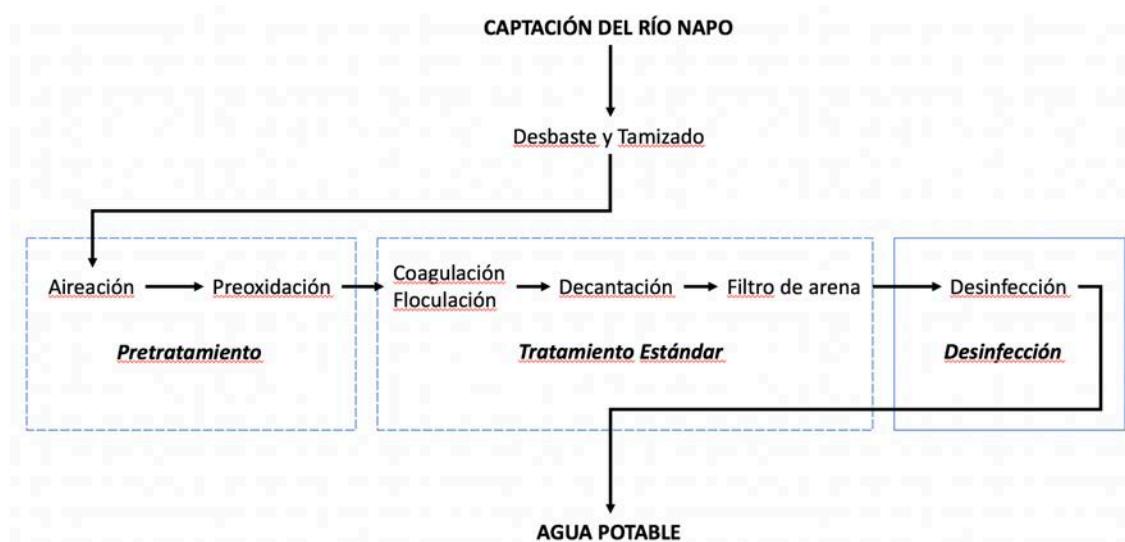


Figura 4.11: Esquema propuesto para la ETAP

4.3.1. Cálculos preliminares

- Habitantes equivalentes

Los datos censales han sido obtenidos a partir del Sistema de Información sobre Comunidades Nativas de la Amazonía Peruana (SICNA).

Habitantes equivalentes	
	1333
Vencedores de Zapote	250
Nuevo Antioquía	76
Nueva Unión	71
Negro Urco	263
Nueva Floresta	200
Huitotos de Negro Urco	473

$$h_{eq} = 1333$$

- Dotación por habitante

En España, la dotación mínima establecida por la Ley es de 100L por habitante equivalente al día, siendo el valor recomendado de 250L.

En Perú, debido al clima tropical, y según el Reglamento Nacional de Edificaciones en el Título de Obras de Saneamiento, y siguiendo las recomendaciones de la entidad prestadora de servicios de saneamiento Epsel S.A., se recomienda una dotación de 150L/hab/día.

$$dotación = 150L \cdot \frac{h_{eq}}{día}$$

- Concentración de STS a la entrada de la instalación

Según los resultados del análisis sobre los Sólidos Totales en Suspensión en la muestra de RNapo10, la concentración de entrada es de 140 mg/L.

$$140 \cdot \frac{mg}{L}$$

- Concentración de STS a la salida de la instalación

En España, el RD140/2003 establece un valor a la salida de la ETAP de 7,5mg/L de STS.

De acuerdo a los ECA-Agua Categoría 4 “Conservación del Ambiente Acuático” Ríos de la Selva de 2015, la concentración a conseguir en el río Napo debería ser <= 25 mg/L. Por tanto, se fija como objetivo 25 mg/L.

$$25 \cdot \frac{mg}{L}$$

- Relación caudal máximo a caudal de diseño

Para obtener el caudal máximo a partir del caudal de diseño, es necesario recurrir a un coeficiente que los relacione. El que se utilizará aquí se ha extraído del libro “Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización”, Metcalf & Eddy, 1995.

$$k = 2$$

A partir de estos datos, se puede pasar a los cálculos preliminares:

- Caudal diario

$$Q_{diario} = \frac{h_{eq} \cdot \text{dotación}}{1000} = 199,950 \frac{m^3}{h}$$

- Caudal de diseño

$$Q_{diseño} = \frac{Q_{diario}}{24h} = 8,331 \frac{m^3}{h}$$

- Caudal máximo

$$Q_{max} = Q_{diario} \cdot k = 16,663 \frac{m^3}{h}$$

- Rendimiento de eliminación de TDS

$$\%TDS = \frac{TDS_i - TDS_f}{TDS_i} \cdot 100 = \frac{140 - 25}{140} \cdot 100 = 82,14\%$$

4.3.2. Rejas de Desbaste

Con la finalidad de mantener los costes de esta estación depuradora lo más bajos posible, se decide optar por una reja de desbaste manual como la mostrada en la siguiente figura. Cabe mencionar que sería precisa la ayuda de un operario que retirase la colmatación con cierta frecuencia.

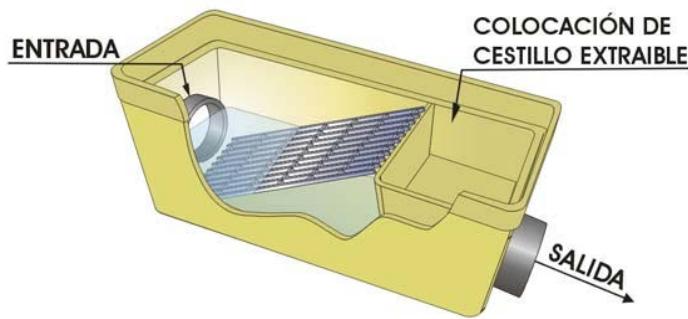


Figura 4.12: Reja de desbaste manual (Bupolsa)

Los datos necesarios para calcular la colmatación de la reja serán:

- Caudal de diseño: $Q_{diseño} = 8,331 \text{ m}^3/\text{h}$
- m^3 de residuos por cada 1000 m^3 de agua bruta a caudal de diseño
Se trata de los m^3 de sólidos que separan las rejillas de desbaste de gruesos y finos al atravesar la rejilla a un caudal de 1000 m^3 . Siguiendo la recomendación de Ricardo Isla de Juana en su libro "Proyectos de plantas de tratamiento de aguas", el valor de referencia debe ser de $0,01 \text{ m}^3$.

Así, los cálculos serían:

- Colmatación normal en las rejillas

$$\text{Colmatación} = \frac{Q_{diario} \cdot 0,01 \cdot 24h}{1000} = 0,002 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

4.3.3. Tamices

Los datos necesarios para calcular la colmatación de la rejilla serán:

- Caudal de diseño: $Q_{diseño} = 8,331 \text{ m}^3/\text{h}$
- Sólidos en Suspensión en el agua a tratar: $SS = 140 \text{ mg/L}$
- Eliminación de Sólidos en Suspensión: % $SS = 5\%$

Así, los cálculos serían:

- Producción de residuos en tamices

$$P_{tamiz} = \frac{SS \cdot Q_{diseño} \cdot 24h}{1000} \cdot \% SS = 1,39 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

4.3.4. Aireadores

De cara a que el diseño sea lo más económico posible, se decide optar por un aireador escalonado de hormigón. Se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- Caudal de diseño: $Q_{diseño} = 8,331 \text{ m}^3/\text{h}$
- Tiempo de retención: $t = 1 \text{ min}$
- Espesor de la lámina: $e = 2 \text{ cm}$

Los cálculos a realizar son:

- Volumen del agua a circular por el escalonamiento

$$V = Q_{diseño} \cdot t = 0,139 \text{ m}^3$$

- Superficie cubierta de agua en el escalonamiento

$$S = \frac{V}{e} = 6,943 \text{ m}^2$$

4.3.5. Preoxidación

La preoxidación es un paso fundamental para contrarrestar la importante carga microbiológica del agua. Teniendo en cuenta que se precisa una agitación rápida para añadir el cloro, se decide optar por aprovechar el salto hidráulico del último escalón de la aireación para este paso. Así, se aprovecha la turbulencia natural y es posible prescindir de la construcción de una balsa específica para la precloración.

Los parámetros a tener en cuenta son:

- Caudal de diseño: $Q_{diseño} = 8,331 \text{ m}^3/\text{h}$
- Caudal de máximo: $Q_{max} = 16,663 \text{ m}^3/\text{h}$
- Dosis de cloro: $d(Cl_2) = 6 \text{ mg/L}$
- Tiempo de contacto a caudal máximo: $t = 10 \text{ min}$

Los cálculos a realizar son:

- Consumo medio de cloro

$$Cl_{2medio} = \frac{Q_{diseño}}{1000} \cdot d(Cl_2) \cdot 24h = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

- Consumo punta de cloro

$$Cl_{2punta} = \frac{Q_{max}}{1000} \cdot d(Cl_2) \cdot 1h = 0,1 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

4.3.6. Coagulación-Floculación-Decantación

Coagulación

Como coagulante se escoge el sulfato de aluminio Al_2SO_4 . Dicho reactivo se verterá al agua en estado líquido aprovechando el resalto hidráulico de la aireación.

Los parámetros a tener en cuenta son:

- Caudal de diseño: $Q_{diseño} = 8,331 \text{ m}^3/\text{h}$
- Dosis del coagulante: $d_{(Al_2SO_4)} = 20 \text{ mg/L}$
- Densidad del reactivo comercial: $\rho_{(Al_2SO_4)} = 1,690 \text{ kg/L}$
- Concentración del reactivo comercial: $C_{(Al_2SO_4)} = 400 \text{ kg/ton}$
- Concentración de dosificación: $C_{diluido} = 50 \text{ kg/ton}$

Los cálculos a realizar son:

- Consumo de reactivo comercial

$$R_{comercial} = \frac{Q_{diseño} \cdot d_{(Al_2SO_4)}}{C_{(Al_2SO_4)}} = 0,417 \frac{kg}{h}$$

- Consumo de reactivo diluido

$$R_{diluido} = \frac{Q_{diseño} \cdot d_{(Al_2SO_4)}}{C_{diluido}} = 3,333 \frac{kg}{h}$$

Floculación

Los parámetros a tener en cuenta son:

- Caudal de diseño: $Q_{diseño} = 8,331 m^3/h$
- Caudal máximo: $Q_{max} = 16,663 m^3/h$
- Tiempo de retención en arqueta de floculación: $t = 30 min$
- Relación longitud/anchura de la arqueta: $r = 2$
- Profundidad útil de la arqueta: $r = 2$

Los cálculos a realizar son:

- Volumen útil de la arqueta

$$V = \frac{t \cdot Q_{diseño}}{60} = 4,166 m^3$$

- Longitud de la arqueta

$$L = \sqrt{\frac{V \cdot r}{b}} = 2,357 m$$

- Anchura de la arqueta

$$h = \frac{L}{r} = 1,178 m$$

- Tiempo de retención a caudal máximo

$$t_{Qmax} = \frac{V}{Q_{max}} = 15 min$$

Decantación

Los parámetros a tener en cuenta son:

- Caudal de diseño: $Q_{diseño} = 8,331 m^3/h$
- Tiempo medio de residencia: $t = 3 h$
- Velocidad ascensional a caudal máximo $v = 1 m/h$

Los cálculos a realizar son:

- Superficie horizontal del decantador

$$S = \frac{Q_{diseño}}{v} = 8,331 \text{ m}^2$$

- Diámetro interno

$$\phi = \sqrt{\frac{S \cdot 4}{\pi}} = 3,26 \text{ m}$$

- Volumen cilíndrico útil

$$V = Q_{diseño} \cdot t = 24,994 \text{ m}^3$$

- Profundidad útil

$$b = \frac{V}{S} = 3 \text{ m}$$

4.3.7. Filtro rápido de arena

El filtro empleado será un filtro rápido de arena por gravedad compuesto por dos medios: arena y antracita. Se construirá en forma de arqueta rectangular de hormigón con su correspondiente fondo hueco para la evacuación del filtrado mediante chorro de agua de lavado.

Los parámetros a tener en cuenta son:

- Caudal de diseño: $Q_{diseño} = 8,331 \text{ m}^3/\text{h}$
- Sólidos en suspensión en el influente: $SS_{influyente} = 140 \text{ mg/L}$
- Sólidos en suspensión en el efluente: $SS_{efluente} = 25 \text{ mg/L}$
- Velocidad de filtración: $v_{filtración} = 5 \text{ m/h}$
- Tiempo de operación por ciclo: $t_{ciclo} = 12 \text{ h}$
- m^3 de huecos por m^3 de lechos del medio 1: $huecos_{medio1} = 0,4$
- m^3 de huecos por m^3 de lechos del medio 2: $huecos_{medio2} = 0,4$
- Contenido de materia seca del flóculo retenido: $ms = 45 \text{ kg/m}^3$
- Máximo porcentaje de huecos a ocupar del lecho: $\%_{huecos} = 25\%$
- Profundidad del medio 1: $\%b_{medio1} = 66,67\%$
- Profundidad del medio 2: $\%b_{medio2} = 33,33\%$
- Profundidad del lecho adicional sobre la calculada: $b_{seg} = 0,4 \text{ m}$
- Expansión del lecho: $exp = 10\%$
- Caudal normal por boquilla: $Q_{boquilla} = 2 \text{ m}^3/\text{h}$
- Talla efectiva del medio 1: $l_{medio1} = 0,8 \text{ mm}$
- Talla efectiva del medio 2: $l_{medio2} = 0,4 \text{ mm}$
- Velocidad del agua de lavado: $v_{lavado} = 20 \text{ m/h}$

Los cálculos a realizar son:

- Sección unitaria

$$S = \frac{Q_{diseño}}{v_{filtración}} = 1,666 \text{ m}^2$$

- Volumen a filtrar por ciclo

$$V_{ciclo} = \frac{Q_{diseño}}{t_{ciclo}} = 0,694 \text{ m}^3$$

- Sólidos a retener por ciclo

$$SS_{ciclo} = \frac{(SS_{influente} - SS_{efluente})}{1000} \cdot V_{ciclo} = 0,08 \text{ kg}$$

- Capacidad de retención del medio 1

$$Ret_{medio1} = huecos_{medio1} \cdot \frac{\%_{huecos}}{100} \cdot ms = 4,5 \text{ kg/m}^3$$

- Capacidad media de retención del lecho

$$Ret_{lecho} = \%b_{medio1} \cdot Ret_{medio1} + \%b_{medio2} \cdot Ret_{medio2} = 4,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Volumen del lecho

$$V_{lecho} = \frac{SS_{ciclo}}{Ret_{lecho}} = 0,018 \text{ m}^3$$

- Altura del lecho

$$h_{lecho} = \frac{V_{lecho}}{S} + b_{seg} = 0,411 \text{ m}^2$$

- Altura del medio 1

$$h_{medio1} = h_{lecho} \cdot \%b_{medio1} = 0,274 \text{ m}$$

- Altura del medio 2

$$h_{medio2} = h_{lecho} \cdot \%b_{medio2} = 0,137 \text{ m}$$

- Volumen del medio 1

$$V_{medio1} = S \cdot h_{medio1} = 0,456 \text{ m}^3$$

- Volumen del medio 2

$$V_{medio2} = S \cdot h_{medio2} = 0,228 \text{ m}^3$$

- Número de boquillas del filtro

$$n_{boquillas} = \frac{Q_{diseño}}{Q_{boquilla}} = 2$$

- Caudal necesario para el agua de lavado

$$Q_{lavado} = S \cdot v_{lavado} = 33,325 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

4.3.8. Desinfección

Al igual que para la etapa de preoxidación, el desinfectante escogido es el cloro. En esta ocasión, se dimensionará también la arqueta correspondiente.

Los parámetros a tener en cuenta son:

- Caudal de diseño: $Q_{diseño} = 8,331 m^3/h$
- Caudal máximo: $Q_{max} = 16,663 m^3/h$
- Dosis del cloro: $d_{Cl_2} = 6 mg/L$
- Tiempo de contacto a caudal máximo: $t = 15 min$
- Profundidad útil de la arqueta: $b = 1,5 m$
- Relación longitud/anchura de la balsa: $r = 2 m$

Los cálculos a realizar son:

- Consumo medio de cloro

$$Cl_{2medio} = \frac{Q_{diseño}}{1000} \cdot d(Cl_2) \cdot 24h = 1,2 \frac{kg}{dia}$$

- Consumo punta de cloro

$$Cl_{2punta} = \frac{Q_{max}}{1000} \cdot d(Cl_2) \cdot 1h = 0,1 \frac{kg}{h}$$

- Volumen útil de la balsa

$$V_{balsa} = \frac{t}{60} \cdot Q_{max} = 4,17 m^3$$

- Superficie útil de la balsa

$$S_{balsa} = \frac{V_{balsa}}{b} = 2,78 m^2$$

- Longitud de la balsa

$$L_{balsa} = \sqrt{r \cdot S_{balsa}} = 2,36 m$$

- Anchura de la balsa

$$h_{balsa} = \frac{S_{balsa}}{L_{balsa}} = 1,18 m$$

Capítulo 5. – Acceso Eléctrico

5.1. Situación Actual de Acceso

Perú ocupa el puesto 22 de los 26 países de América Latina en electrificación. A nivel nacional, la cobertura eléctrica alcanza el 92,9% de la población (World Bank, 2016).

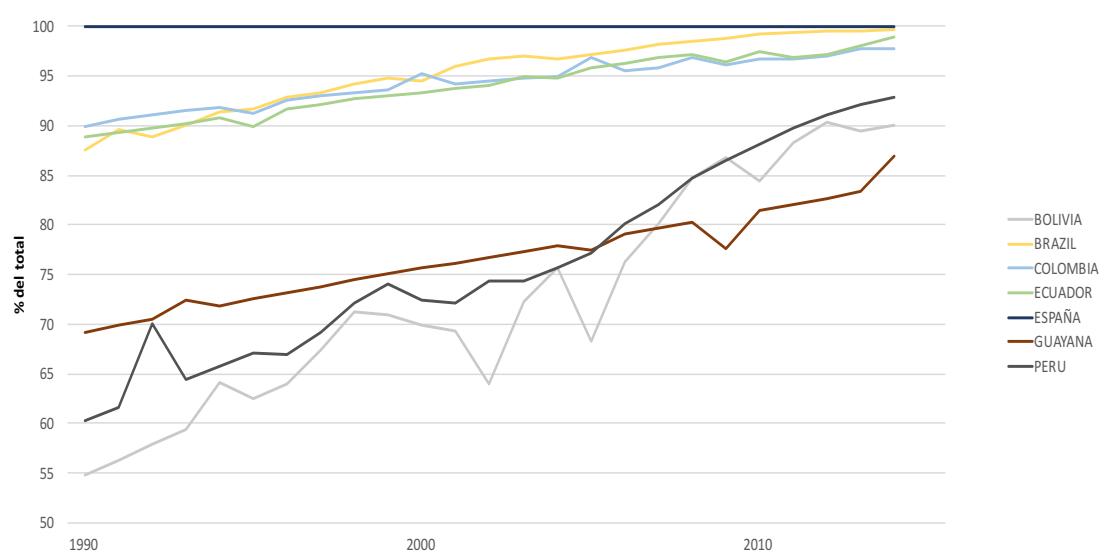


Figura 5.1: Acceso Eléctrico Total en Países Amazónicos (World Bank, 2016)

La población rural en Perú representa el 21% del total, con más de 6,7 millones de personas. Para estas comunidades, la cifra de acceso eléctrico desciende hasta el 74,5% (World Bank, 2016). El Banco Interamericano de Desarrollo estima que, en las áreas rurales, sólo el 29.5% de los hogares está conectado a la red pública.

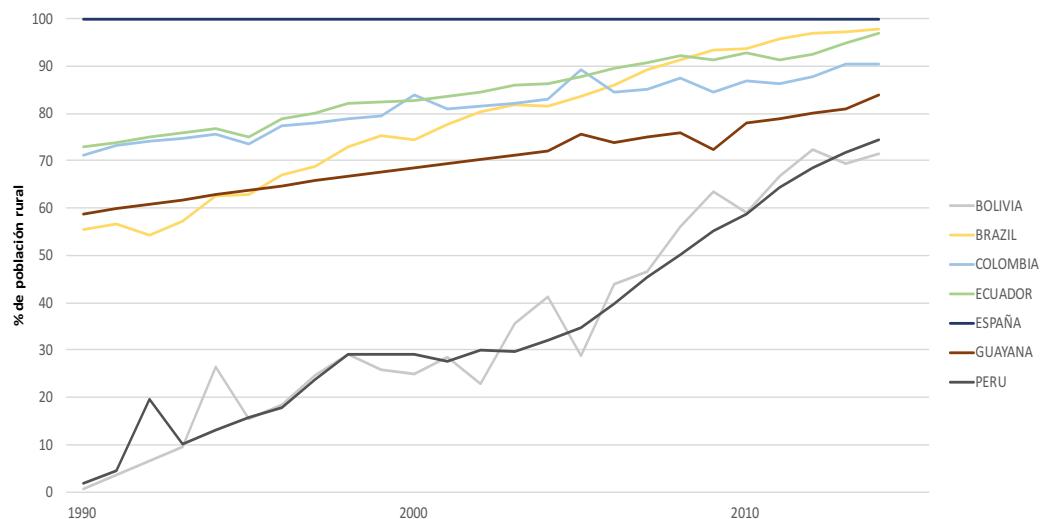


Figura 5.2: Acceso Eléctrico para la Población Rural de los Países Amazónicos (World Bank, 2016)

Según el INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática), y un análisis realizado por la ONG Soluciones Prácticas, uno de los principales obstáculos para el desarrollo de la región amazónica peruana es la electrificación rural. En el río Napo, las cifras de acceso varían desde el 25,5% para el distrito de Napo, hasta un 18,7% para Torres Causana.

Distrito	Viviendas		
	Total	Con servicio de electricidad	%
Torres Causana	808	151	18,7%
Napo	2491	635	25,5%
Mazán	2413	462	19,1%

Figura 5.3: Datos de acceso a servicio de electricidad en el río Napo (BID, 2012)

El servicio es necesario para el alumbrado dentro y fuera de la vivienda, así como artefactos de fin doméstico y productivo. Además, no solo las familias demandan energía, sino también los centros educativos y de salud.

Algunas de las fuentes más empleadas a día de hoy, especialmente para el alumbrado de las viviendas, son los mecheros en base de petróleo y keroseno, las velas y las pilas secas. Soluciones Prácticas estima que solo una pequeña proporción de la población amazónica utiliza paneles solares (menos del 2%).

Se recurre a estas fuentes porque, a pesar de que en algunas comunidades existen motores generadores a base de diésel o gasolina, estos no son capaces de cubrir totalmente la demanda eléctrica y son mucho más costosos. Las limitaciones se

acentúan para aquellas áreas donde no existe vía de acceso terrestre que traslade los combustibles.

En la zona de La Selva, se estima que el uso diario por parte de un poblado de un motor generador durante 3h requiere de un consumo de 3 galones de combustible al día, o el equivalente de 90 galones al mes, lo que supone (asumiendo un precio medio de S/12.00 por galón de combustible) un coste mensual de S/1080, algo prácticamente inasequible para las pequeñas comunidades ribereñas al río Napo.

Para estas poblaciones, dadas las características demográficas y territoriales de la zona, los tendidos de redes de distribución convencionales resultan inviables a nivel tanto técnico como económico. Por ello, los planes de electrificación nacionales contemplan el uso de pequeños sistemas aislados basados en fuentes renovables.

Son muchos los estudios que han demostrado la relación directa entre el uso del servicio eléctrico y la reducción de la pobreza; en concreto, se ha demostrado la correlación directa entre el consumo eléctrico y la creación de riqueza (Ferguson et al., 2000).

En esta línea, se procede al análisis del acceso eléctrico en la región de estudio a través de sistemas FV domiciliarios (SFD) gracias a la iniciativa "Luz en Casa Amazonía" de Acciona Microenergía Perú, para posteriormente diseñar una microrred para una de las comunidades no beneficiadas por el programa: Huitotos de Negro Urco.

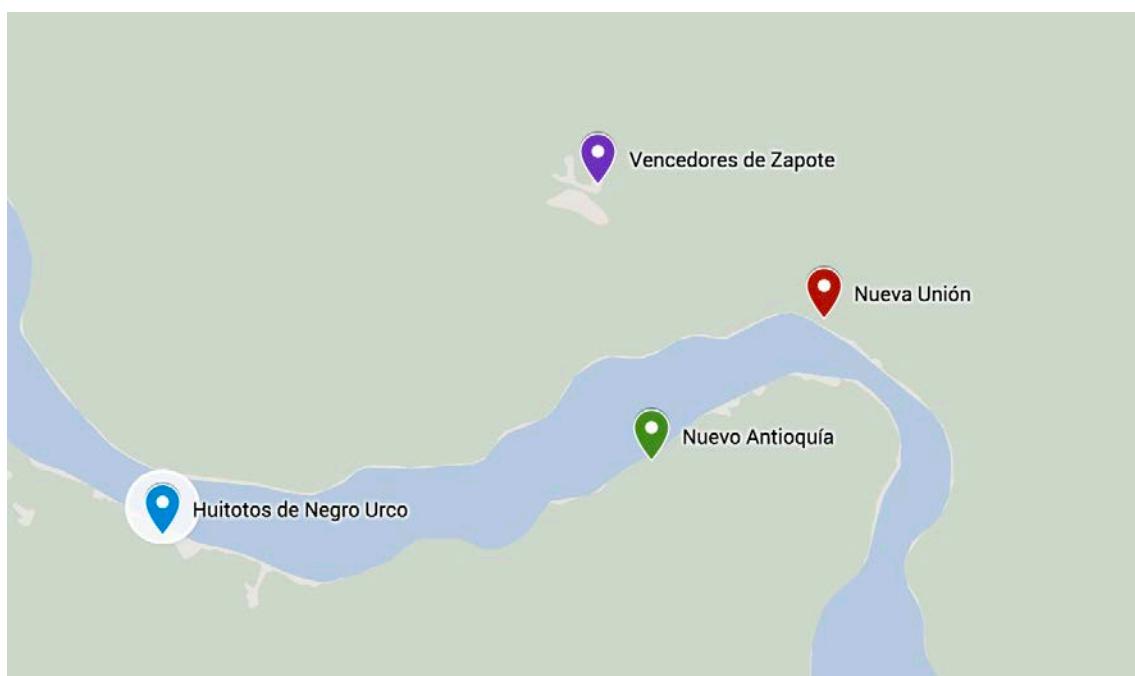


Figura 5.4: Poblaciones afectadas por el programa "Luz en Casa Amazonía" y su relación con Huitotos de Negro Urco

5.2. Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios (SFD)

A través de Acciona Microenergía Perú (AMP), la Fundación Acciona Microenergía (FUNDAME), ha llevado acceso eléctrico a distintas comunidades rurales aisladas en el país, con bajo nivel de electrificación y alto nivel de pobreza.

5.2.1. Cajamarca

Entre 2011 y 2015, AMP llevó a cabo su primer proyecto de electrificación rural en Perú en el departamento de Cajamarca (ver Figura 3.3: Mapa de distritos en Perú (Portillo Sisnega et al., 2006). Mediante el programa “Luz en Casa Cajamarca”, se dio un servicio básico de electricidad a 12Vcc a casi 4.000 hogares a través de sistemas fotovoltaicos domiciliarios (SFD) y a 17 centros comunitarios (escuelas, iglesias, centros médicos, etc.) mediante sistemas fotovoltaicos comunitarios (SFC).

Instalación	Nº	Nº Localidades Atendidas	Características de los Equipos Instalados	Posibles Usos Diarios del Sistema
SFD	3.910	115	Panel FV: 60-85 W Batería: 100 Ah Regulador: 10A Focos (3): LED 5 W, CFL 11 W	Iluminación: 3 LEDx 8h o 3 CFL x 4h Carga teléfono móvil Radio 6,5h o TV B/N 3h
SFC	17	14	Panel FV: 175 W Batería: 100 Ah Regulador: 20A Focos (5): CFL 11 W	Iluminación: 5 CFL x 4h Carga de ordenador Radio 6,5h o TV B/N 3h

Figura 5.5: Características técnicas de los SFD del programa “Luz en Casa Cajamarca” (Acciona Microenergía, 2015)

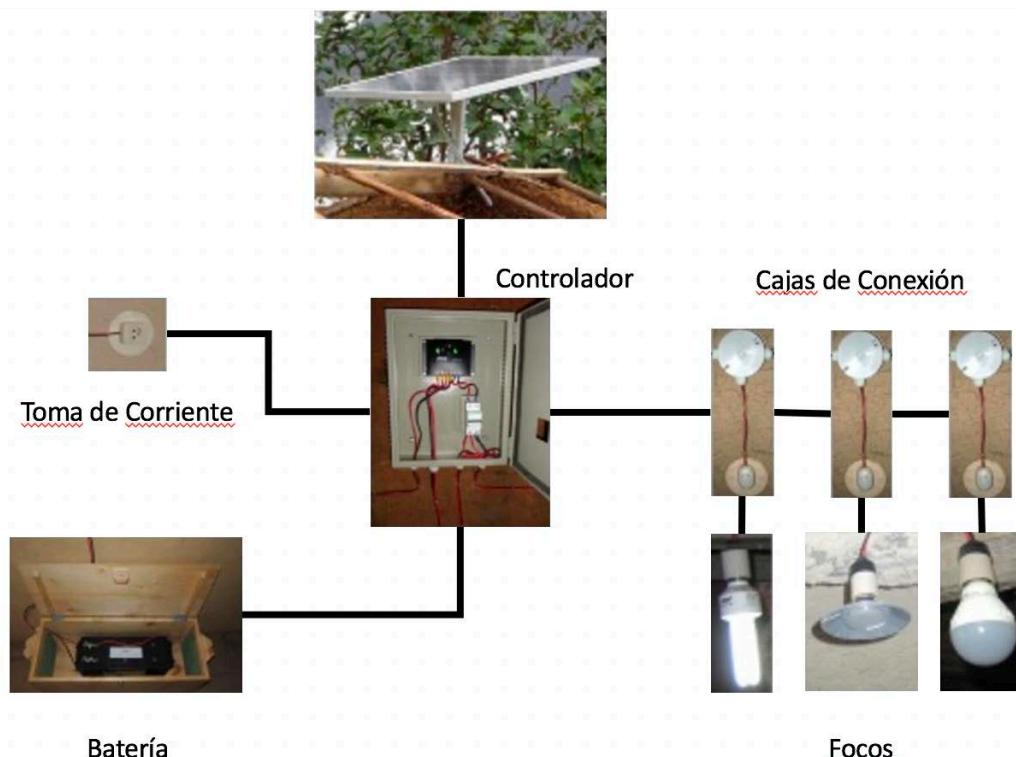


Figura 5.6: Modelo tecnológico de los SFD instalados para el programa “Luz en Casa Cajamarca” (Acciona Microenergía, 2015)

Los SFD y SFC instalados permitieron a las familias sustituir formas tradicionales de energía, como las pilas o el queroseno, y acceder a medios de comunicación, como la televisión o la radio. Además, gracias a la adhesión de AMP al Fondo de Compensación Social Eléctrico (FOSE), que permite reducir las cuotas mensuales mediante distintos subsidios, las familias ahora abonan S/. 10 al mes, frente a los S/. 15 que gastaban antes.

El proyecto de 3,1M€, que fue financiado entre FUNDAME (1,7M€), AMP (1,1M€) y el BID (0,2M€), se caracterizó por una fuerte implicación de los usuarios, gracias a la formación de Comités de Electrificación Fotovoltaica (CEF), responsables de la interacción con AMP, y la capacitación de técnicos locales, encargados del mantenimiento preventivo de los equipos.

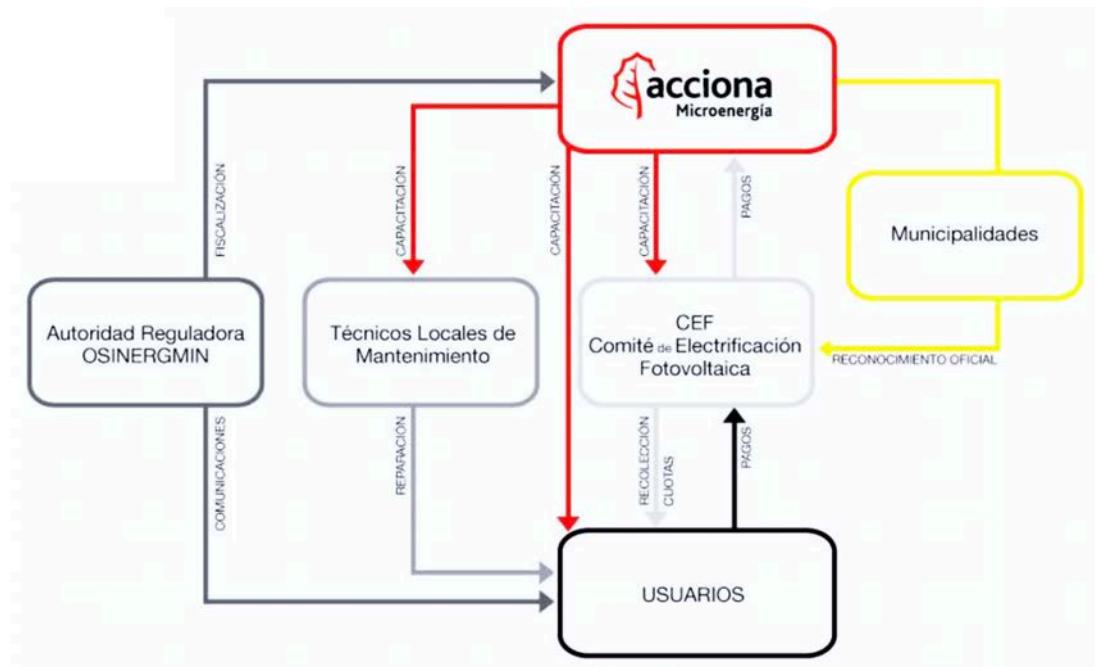


Figura 5.7: Modelo de gestión del programa "Luz en Casa Cajamarca" (Acciona Microenergía, 2015)



Figura 5.8: Instalación de los SFD y formación de los técnicos locales para el proyecto "Luz en Casa" en Cajamarca, Perú (Acciona Microenergía, 2016)

Asimismo, AMP ha creado los “Centros Luz en Casa”, un modelo de microfranquicia que ofrece servicios técnicos a los usuarios y venta de pequeños electrodomésticos.

5.2.2. Napo

Ahora, y gracias al programa “Luz en Casa Amazonía”, nuevas comunidades rurales aisladas en Perú podrán beneficiarse de las mismas ventajas. Esta vez, las comunidades escogidas son pequeños poblados en el río Napo: Nuevo Antioquía, Nueva Unión y Vencedores del Zapote.



Figura 5.9: Comunidad ribereña al río Napo (Acciona Microenergía, 2016)

Tras la experiencia en Cajamarca, se planteaban los siguientes inconvenientes técnicos relativos a los SFD:

- Alta inversión inicial para economías de muy bajos ingresos. Un sistema de 60-80Wp, 100 Ah y tres focos (200wh de energía disponible al día con dos días de autonomía) puede costar en el entorno de los USD750.
- Elevado peso, que dificulta y encarece su reposición y traslado. Sólo la batería de Pb de 100Ah pesa alrededor de 35Kg.
- El reducido número de ciclos que soporta la batería de Pb y su gran dependencia de la profundidad de descarga, que dificulta una protección adecuada con los controladores convencionales.

Buscando la posibilidad de superar los inconvenientes de los SFD convencionales usando la tecnología de los pícofotovoltaicos, pero superando sus reducidas prestaciones, se diseñaron los SFD de Tercera Generación (SFD3G), que cuentan con las siguientes características:

- Iluminación basada en tres focos de tecnología led de 12Vcc con rendimiento lumínico superior a 90 lúmenes/W y al menos 200 lúmenes por foco, y con vida útil superior a 5.000 horas de funcionamiento. Al menos uno de estos focos debe ser portátil para facilitar la iluminación en otros entornos.
- Dos o tres conectores con cargador de celular y posibilidad de alimentar durante unas horas al día artefactos de alta eficiencia energética como radio (3W) o TV (20w) o ventilador.
- Un panel fotovoltaico entre 10 y 50Wp
- Batería de Ión -Li de 12Vcc con capacidad de alimentar los focos y artefactos durante cuatro horas al día, con más de 2.000 ciclos al 80% de

profundidad de descarga, y con controlador con indicación del estado de carga.

Los SFD3G deben pesar menos de 7 kg y su instalación debe poder realizarla cualquier persona con instrucciones sencillas. Si a esto le añadimos que su precio debe ser inferior a la mitad de los SFD convencionales, los SFD3G se configuran como una de las soluciones tecnológicas más adecuadas para la electrificación básica de los hogares en comunidades rurales aisladas de Latinoamérica.

Ahora, a través de un modelo piloto, distintas familias de los poblados mencionados se benefician ya de acceso eléctrico a través del mismo modelo de gestión que el empleado en "Luz en Casa Cajamarca".



Figura 5.10: Formación de los CEF en Nueva Antioquia (Acciona Microenergía, 2016)



Figura 5.11: Supervisión de los equipos de "Luz en Casa Amazonía" (Acciona Microenergía, 2016)

5.3. Diseño de una Microrred para Huitotos de Negro Urco

En esta parte se estudiarán las distintas alternativas para proporcionar acceso eléctrico al poblado de Huitotos de Negro a través de una microrred off-grid.

Para el diseño de esta microrred, se ha utilizado el *Local Rural Electrification Model* (LREM) desarrollado conjuntamente por el Instituto de Tecnología de Massachusetts MIT y el Instituto de Investigación Tecnológica IIT de la Universidad Pontificia Comillas, puesto en marcha y descrito en la tesis de master desarrollada por Vivian Li en el MIT: “*A Comprehensive Decision-Making Tool for the Design of Rural Microgrids*” (Li, 2016).

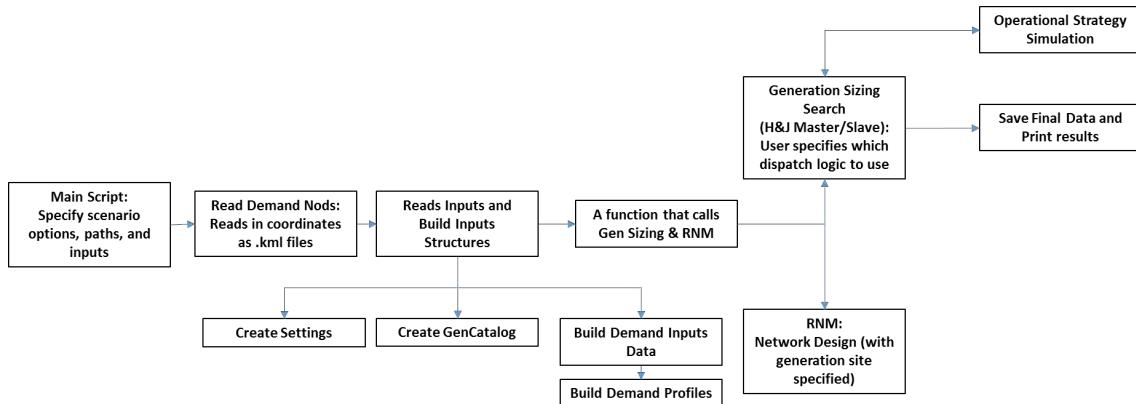


Figura 5.12: Esquema de funcionamiento del modelo LREM (Li, 2016)

El modelo LREM optimiza la generación y el diseño de la red para una determinado sistema off-grid, teniendo en cuenta parámetros técnicos, como la distribución de los nudos de demanda, y financieros, como el coste del litro de diésel. El objetivo es obtener el modelo más eficiente y rentable posible, tanto para los usuarios como para los inversores, optimizando el mix de generación entre solar, diésel y baterías. Para ello, el modelo divide la optimización en dos partes: la primera relativa al tamaño del generador diésel, y la segunda relativa al número de paneles y baterías necesarias, que tienen un tamaño fijo.

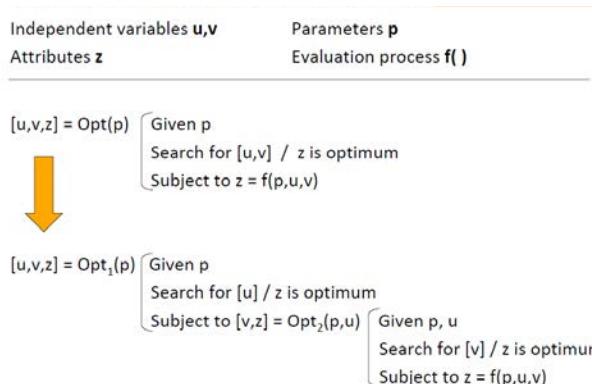


Figura 5.13: Esquema del algoritmo de optimización del modelo LREM, tomado de información del Dr. Fernando de Cuadra, profesor del IIT Comillas (Li, 2016)

Para el diseño de la microrred, se empleará el modelo Reference Network Model (RNM), desarrollado por IIT Comillas, y utilizado para estudios de diseño la red de distribución eléctrica en España y Estados Unidos, entre otros países².

5.3.1. Inputs

Los inputs del modelo fueron:

5.3.1.1. Parámetros técnicos generales

- Catálogo de generación: equipos utilizados en el diseño de la generación, incluyendo paneles FV, baterías y generadores diesel.

Paneles FV		
Tamaño (kW)	Coste (\$)	Vida útil (años)
0.25	225	15

Figura 5.14: Información técnica sobre los paneles FV disponibles para el modelo LREM (Li, 2016)

Batería			
Tipo	Energía (kWh)	Coste (\$)	Voltaje (V)
TROJ_T105	1,38	213,9	6

Figura 5.15: Información sobre la batería disponible para el modelo LREM (Li, 2016)

Generador Diesel						
Tamaño (kW)	Coste (\$)	1/4 Carga (l/kWh)	1/2 Carga (l/kWh)	3/4 Carga (l/kWh)	100% Carga (l/kWh)	Vida útil (h)
6	1920,00	0,39	0,35	0,32	0,30	7300
8	2471,28	0,36	0,31	0,29	0,27	7300
10	2785,91	0,34	0,30	0,28	0,26	7300
15	3463,66	0,34	0,30	0,28	0,26	7300
20	4042,34	0,34	0,30	0,28	0,26	7300
25	4556,98	0,34	0,30	0,28	0,26	7300
30	5025,75	0,34	0,30	0,28	0,26	7300
40	5865,41	0,34	0,30	0,28	0,26	7300
60	7292,34	0,34	0,30	0,28	0,26	7300
80	8510,68	0,34	0,30	0,28	0,26	7300

Figura 5.16: Información técnica sobre los generadores diesel disponibles para el modelo LREM (Li, 2016)

- Catálogo de la red: equipos utilizados en el diseño de la red, incluyendo conductores y transformadores.

Name	Capacity (kVA)	Installed Power Capacity (kVA)	Voltage	Guaranteed Power Capacity (kVA)	Resistance on the Lower side of the Transformer (ohms)	No Load Losses (kW)	Max Num of Output Ports	Failure Rate Min (failures/year)	Failure Rate Max (failures/year)	Failure Rate Med (failures/year)	Investment Costs (\$/Year)	Preventative Maintenance Costs (\$/Year)	Corrective Maintenance Costs (\$/failure)
CT10_V	10	10	11	0.1	0.6	2	0	0.007	0.007	0.007	2400	230	1500
CT11_V	16	16	11	0.124	0.4	2	0	0.007	0.007	0.007	2640	230	1500
CT12_V	25	25	11	0.136	0.3	2	0	0.007	0.007	0.007	3000	230	1500
CT13_V	40	40	11	0.15	0.08	2	0	0.007	0.007	0.007	3600	230	1500
CT14_V	63	63	11	0.262	0.045	2	0	0.007	0.007	0.007	4520	230	1500
CT15_V	100	100	11	0.381	0.035	2	0	0.007	0.007	0.007	6000	230	1500
CT16_V	200	200	11	0.577	0.01	2	0	0.007	0.007	0.007	10000	230	1500

Figura 5.17: Transformadores MT/VT disponibles para el modelo LREM (Li, 2016)

² <http://ieeexplore.ieee.org/document/5504171/>

Name	Resistance (ohm/km)	Reactance (ohm/km)	Rated Current (per unit)	Average failure rate (failures/(km*a))	Max Failure Rate (failures/(km*a))	Min Failure Rate (failures/(km*a))	Overnight costs (\$)	Preventative Maintenance Costs (\$/(year*km))	Corrective Maintenance Costs (\$/(failure))	
Mole_s	20.37	1.58	22.00	1.2	0.133	0.133	0.133	990	2.8	427
Gopher_s	8.41	1.41	38.33	1.2	0.133	0.133	0.133	1920	2.8	427
Weasel_s	6.99	1.38	43.00	1.2	0.133	0.133	0.133	2230	2.8	427
Ferret_s	5.21	1.32	51.67	1.2	0.133	0.133	0.133	2850	2.8	427
Weasel	1.16	0.23	129.00	1.2	0.133	0.133	0.133	3346	2.8	427
Ferret	0.87	0.22	155.00	1.2	0.133	0.133	0.133	4338	2.8	427
Rabbit	0.70	0.21	178.00	1.2	0.133	0.133	0.133	5330	2.8	427
Horse	0.50	0.19	225.00	1.2	0.133	0.133	0.133	7314	2.8	427
Dog	0.35	0.19	271.00	1.2	0.133	0.133	0.133	10290	2.8	427
Dingo	0.23	0.18	346.00	1.2	0.133	0.133	0.133	15250	2.8	427
Lynex	0.20	0.17	384.00	1.2	0.133	0.133	0.133	17730	2.8	427
Jaguar	0.18	0.17	411.00	1.2	0.133	0.133	0.133	20210	2.8	427
Panther	0.17	0.17	420.00	1.2	0.133	0.133	0.133	20210	2.8	427
Zebra	0.09	0.15	636.00	1.2	0.133	0.133	0.133	40050	2.8	427

Figura 5.18: Cables de BT disponibles para el modelo LREM (Li, 2016)

- Distribución horaria de la radiación solar a largo de todo un año. Para esto, y a falta de información concreta sobre la región del río Napo, se tomó como referencia el atlas solar disponible para una zona análoga de la Amazonía. En la implementación final del proyecto, se deberán utilizar mediciones de campo en Huitotos de Negro Urco.
- Temperatura media histórica para cada hora del día. Esto se tendrá en cuenta para el cálculo de la demanda (uso de ventiladores en las casas) y, junto con la disponibilidad de los recursos, para determinar qué tipo de generación es más rentable en cada momento.

5.3.1.2. Nudos de demanda por tipo de cliente

Se refiere a las coordenadas de los clientes a los que se quiere dar acceso. Se debe distinguir entre los distintos tipos de clientes disponibles en el poblado.

En este caso, gracias a la información disponible a través del SICNA (Sistema de Información sobre Comunidades Nativas de la Amazonía Peruana), se sabía de antemano que Huitotos de Negro Urco contaba con:

- 473 habitantes y 94 familias
- Centro de salud
- Escuela primaria
- Escuela secundaria
- Iglesia
- Ayuntamiento

- Al menos tres tiendas diferentes, para vender: plátano, yuca y chonta

Para la localización de los nudos, se utilizaron las imágenes GPS disponibles a través del programa ArcGIS, que posteriormente se exportaron a Google Earth, con objeto de disponer de un fichero kml que pudiese reconocer el modelo LREM.



Figura 5.19: Imagen GPS del poblado *Huitotos de Negro Urco*, disponible a través de ArcGis

En la Figura 5.20: Vista en detalle de *Huitotos de Negro Urco (parte 1)*, disponible a través de ArcGis. se pueden apreciar algunos de los edificios más significativos del poblado, como el centro de salud (tejado rojo), el colegio de primaria con su patio de recreo, y algunas tiendas de comida, con dimensiones ligeramente superiores a las viviendas convencionales. A continuación, se puede observar también el resultado de la exportación a Google Earth.



Figura 5.20: Vista en detalle de *Huitotos de Negro Urco (parte 1)*, disponible a través de ArcGis.



Figura 5.21: Vista en detalle de *Huitotos de Negro Urco* (parte 1), disponible a través de Google Earth

En la Figura 5.22: Vista en detalle de *Huitotos de Negro Urco* (parte 2), disponible a través de ArcGis se pueden apreciar otros edificios importantes, como la escuela de educación secundaria, la iglesia, y otras tiendas de comida, que también cuentan con dimensiones superiores a las viviendas convencionales. A continuación, se puede observar también el resultado de la exportación a Google Earth.



Figura 5.22: Vista en detalle de *Huitotos de Negro Urco* (parte 2), disponible a través de ArcGis



Figura 5.23: Vista en detalle de la localización de la iglesia en *Huitotos de Negro Urco*, disponible a través de Google Earth



Figura 5.24: Vista en detalle de la localización del colegio de secundaria en *Huitotos de Negro Urco*, disponible a través de Google Earth

5.3.1.3. Perfiles de demanda

Se refiere a la demanda basada en los equipos eléctricos necesarios para cada tipo de cliente y su consumo horario.

En este caso, los perfiles de Huitotos de Negro Urco están basados en aquellos identificados para Karambi (Ruanda) en la tesis doctoral de Javier Santos en la Universidad Pontificia Comillas ICAI-ICADE “*Metodología de Ayuda a la Decisión para la Electrificación Rural Apropriada en Países en Vías de Desarrollo*” (Santos Pérez, 2015).

Acceso Eléctrico

Work 8 hours per day. Men and women work hand in hand (40% women - 60% men).
Mainly farming and rearing animals.

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
MEN						GET UP	AGRICULTURE					RESTING		AGRICULTURE or WORK AT HOME			MARKET								
WOMEN					GET UP	BREAKFAST + CLEANING		AGRICULTURE				COOKING		RESTING AND WORK AT HOME				COOKING AND DINNER							
Farmers						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Builder						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Shops						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Bars and Restaurant						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Primary Sch. (Morning turn)						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Primary Sch. (Aftern. turn)						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Secondary (Mond-Fri)						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Secondary (Saturday)						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Health center	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CHILDRENS											GATHER WOOD FOR COOKING														
Outliers		GET UP												FOOTBALL											

Figura 5.25: Hábitos y horarios actividades diarias para Karambi, Ruanda (Santos Pérez, 2015)

Tras estudiar los hábitos horarios, (Santos Pérez, 2015) determinó que los principales usos previstos para una población rural aislada tras recibir acceso eléctrico serían, en orden de importancia:

- Iluminación de las casas: Noche
- Iluminación de los edificios: Día/Noche
- Iluminación exterior: Noche
- Teléfonos móviles: Día
- Radio: Día
- TV: Día/Noche
- Ordenadores: Día/Noche
- Otras aplicaciones con elevados consumos (neveras, planchas, hervidores de agua, etc.): Día

Los perfiles de demanda, cuya tasa de crecimiento se asume nula, varían también en función del tipo de cliente, la estación del año, el día de la semana y la temperatura.

KW or kWh	Adv Res	Basic Res	Prim School	High School	Coop	Bank	Med Center	Govertment	Church	shopes	Customer Type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10											
Peak of Customer Type	0.234	0.047	0.64	1.551	0.037	1.095	4.241	1.565	1.707	0.235	Annual Energy Consumption (Each)	351.3376	87.7076	1194.199	6114.5096	122.527	4133.298	8981.98	3463.616	4285.8374	324.887	Peak of Aggregate	28.088									

Figura 5.26: Datos sobre los perfiles de demanda en Karambi (Rwanda), utilizados para el diseño de la microrred de Huitotos de Negro Urco (Li, 2016)

En la siguiente imagen se pueden observar las gráficas de los perfiles de demanda por tipo de consumidor (Li, 2016):

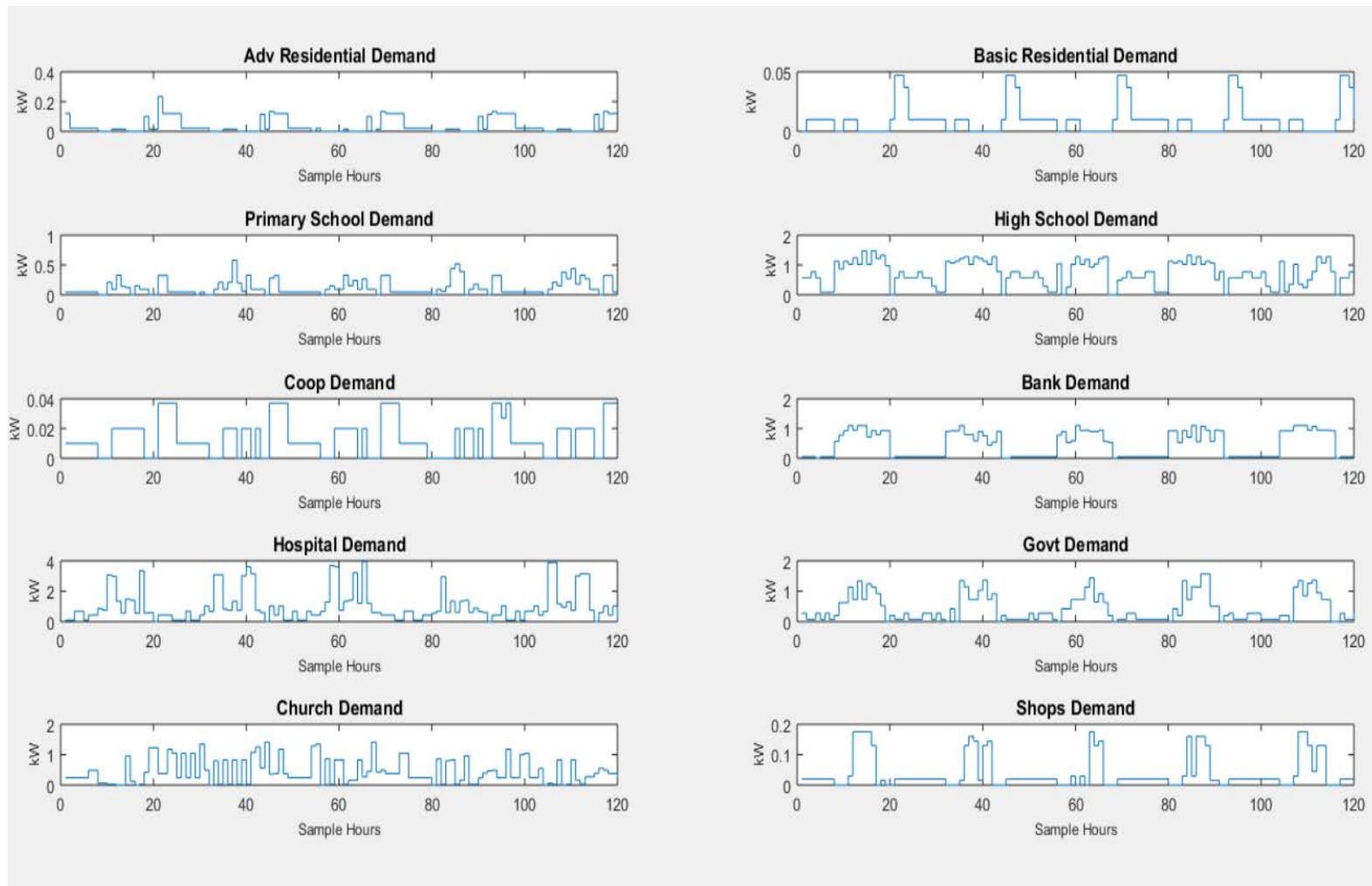


Figura 5.27: Gráficas de los perfiles de demanda en Karambi (Rwanda), utilizados para el diseño de la microrred de Huitotos de Negro Urco (Li, 2016)

5.3.1.4. Parámetros económicos

- Costes de mano de obra para operación y mantenimiento
- Costes iniciales: cableado, medidores, etc.
- Costes de instalación
- Depreciación: se asume que la instalación se amortiza en un plazo fijo de 25 años de manera lineal.
- Coste de la energía no servida: se refiere al coste resultante de la pérdida de ingresos cuando la demanda de un cliente no puede suministrarse.
- Tasa de descuento: se utilizará para determinar la anualidad de los costes de inversión. En este caso, se tiene en cuenta una tasa del 10%.
- Coste del litro de diesel: 12 soles/galón (Prialé Ugás, 2012), o el equivalente aproximado de 1 \$/L

5.3.2. Resultados

5.3.2.1. Red de Distribución

Se decide establecer el lugar para la generación en un claro del bosque, aledaño a la zona más congestionada del poblado, donde está situado el centro de salud, el colegio de primaria, el ayuntamiento, y la iglesia, así como numerosas viviendas y tiendas.



Figura 5.28: Lugar destinado a la generación eléctrica para la microrred de Huitotos de Negro Urco

La microrred para Huitotos de Negro Urco, resultado de utilizar el modelo LREM, se muestra en la siguiente imagen, donde se puede apreciar la red eléctrica sugerida (azul), las viviendas y tiendas señalizadas (rojo), y demás edificios destacados tenidos en cuenta para el modelo de optimización:

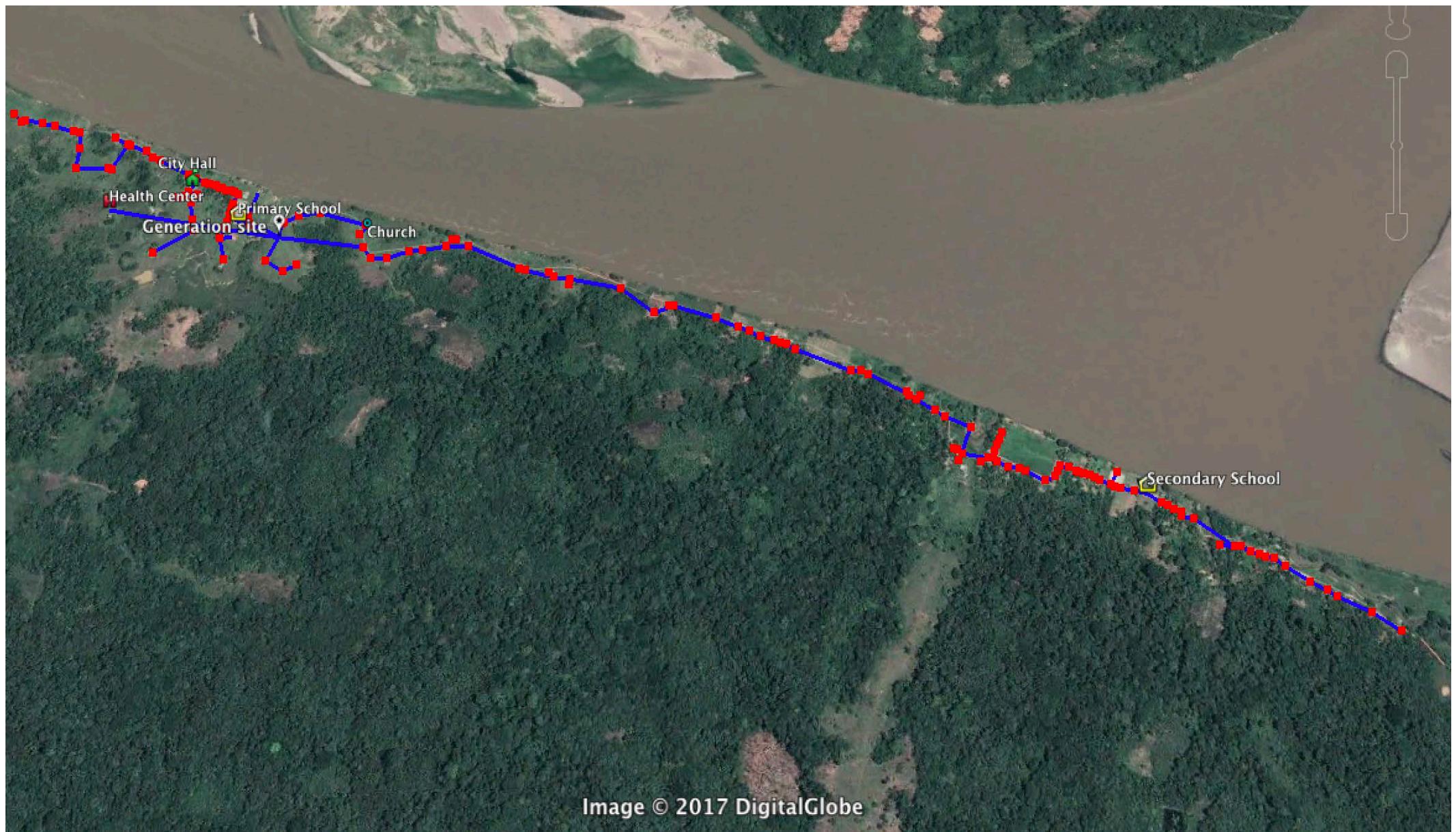


Figura 5.29: Microrred diseñada para Huitotos de Negro Urco (azul), a través del modelo LREM y RNM

Como se puede observar, la red es bastante lineal y fluye a lo largo del poblado bordeando la orilla del río Napo, con la excepción del centro del poblado, donde se distribuye de la siguiente manera:



Figura 5.30: Microrred sugerida para el centro del poblado Huitotos de Negro Urco

En cuanto al mix de generación, se decidió estudiar dos alternativas distintas:

- Escenario A: Solo energía solar y baterías, siguiendo la línea de actuación del programa “Luz en Casa Amazonía” de Acciona ME Perú.
- Escenario B: Híbrido entre solar, baterías y diésel, para aquellos momentos del día en los que el 100% de generación solar no es completamente rentable.

5.3.2.2. Tarifa Mensual por Usuario

Para poder estimar los gastos mensuales por usuario, se ha tenido en cuenta la normativa vigente para establecer tarifas eléctricas a usuarios de Baja Tensión indicadas por (Ministerio de Energía y Minas de Perú, 2011). Cabe destacar que dichas tarifas están diseñadas para sistemas interconectados, pero se deciden extrapolar a esta microrred aislada en ausencia de otra tarifa más indicada diseñada hasta el momento.

En este caso, se ha optado por escoger la tarifa BT5B, distinguiendo entre residencial o no residencial, dependiendo del tipo de usuario.

Tarifa BT5B No Residencial		
Cargo Fijo Mensual	S/./mes	3,07
Cargo por Energía Activa	ctm. S./kWh	54,5
Tarifa BT5B Residencial		
Consumos menores o iguales a 100 kWh por mes		
0 - 30 kWh		
Cargo Fijo Mensual	S/./mes	2,98
Cargo por Energía Activa	ctm. S./kWh	39,72
31 - 100 kWh		
Cargo Fijo Mensual	S/./mes	2,98
Cargo por Energía Activa - Primeros 30 kWh	S/./mes	11,92
Cargo por Energía Activa - Exceso de 30 kWh	ctm. S./kWh	52,96
Consumos superiores a 100 kWh por mes		
Cargo Fijo Mensual	S/./mes	3,07
Cargo por Energía Activa	ctm. S./kWh	54,5

Figura 5.31: Normativa en tarifas eléctricas para usuarios de Baja Tensión

Así, las tarifas mensuales resultantes para cada tipo de usuario son:

Usuarios con Tarifa BT5B Residencial		
	Viviendas	Tiendas
Consumo Anual Unitario (kW)	365,376	324,887
Consumo Mensual Unitario (kWh)	30,0309	26,7030
Cargo Fijo (S./.)	2,98	2,98
Cargo por Energía Activa (S./.)	11,79	10,49
Coste Total Unitario (S./.mes)	14,77	13,47

Figura 5.32: Tarifas mensuales para usuarios residenciales en Huitotos de Negro Urco

Usuarios con Tarifa BT5B No Residencial		
	Colegio Primaria	Colegio Secundaria
Consumo Anual Unitario (kW)	1194,199	6114,501
Consumo Mensual Unitario (kWh)	98,1533	502,5617
Cargo Fijo (S./.)	3,07	3,07
Cargo por Energía Activa (S./.)	53,49	273,90
Coste Total Unitario (S./.mes)	56,56	276,97

Usuarios con Tarifa BT5B No Residencial			
	Ayuntamiento	Iglesia	Centro de Salud
Consumo Anual Unitario (kW)	3463,616	4285,837	8981,98
Consumo Mensual Unitario (kWh)	284,6808	352,2606	738,2449
Cargo Fijo (S./.)	3,07	3,07	3,07
Cargo por Energía Activa (S./.)	155,15	191,98	402,34
Coste Total Unitario (S./.mes)	158,22	195,05	405,41

Figura 5.33: Tarifas mensuales para usuarios no residenciales en Huitotos de Negro Urco

Como puede verse, el coste mensual para cada hogar son S/14,77, comparable a los S/10 que abonan los usuarios del programa “Luz en Casa Amazonía”, y a los S/15 que gastan los usuarios actualmente en formas de energía tradicionales, de acuerdo a Acciona Microenergía Perú.

Estas tarifas son idénticas para ambos escenarios de generación, ya que solo dependen del consumo mensual unitario, que es el mismo en los dos casos.

5.3.2.3. Subsidios

Para poder calcular los ingresos de la compañía en cada escenario de generación, es necesario tener en cuenta dos cosas:

- Las tarifas de los usuarios
- Los subsidios del Fondo Social de Compensación Eléctrica sobre los costes eléctricos

El Fondo Social de Compensación Eléctrica (FOSE) fue creado en 2001 mediante la Ley Nº 27510, con el objetivo de favorecer el acceso y la permanencia del servicio eléctrico a todos los usuarios residenciales del servicio público de electricidad comprendidos dentro de la opción tarifaria BT5B con consumos mensuales de hasta 100 kWh.

El FOSE consiste en un esquema de subsidio cruzado. Se financia con un recargo en la facturación final de los usuarios cuyos consumos mensuales sean mayores a 100 kWh. Este recargo permite financiar el FOSE sin afectar los recursos que requieren las empresas de electricidad para la prestación del servicio eléctrico ni los recursos del Tesoro Público, lo que ha hecho de este subsidio cruzado un mecanismo viable y sostenible desde su creación.

Tablas de Descuento del FOSE

Usuarios	Sector	(I) Reducción tarifaria para consumos menores o iguales a 30 Kwh / mes	(II) Reducción tarifaria para consumos mayores a 30 Kwh / mes hasta 100 Kwh / mes
Sistema Interconectado	Urbano	25% del cargo de energía	7.5 Kwh / mes por cargo de energía
	Urbano-rural y Rural	50% del cargo de energía	15 Kwh / mes por cargo de energía
Sistemas Aislados	Urbano	50% del cargo de energía	15 Kwh / mes por cargo de energía
	Urbano-rural y Rural	62.5% del cargo de energía	18.75 Kwh / mes por cargo de energía

Fuente: Ley 27510, Ley que crea el Fondo de Compensación Social Eléctrica.

Figura 5.34: Tablas de Descuento del Fondo Social de Compensación Eléctrica

5.3.3.1. Escenario A: Generación Solar



Figura 5.35:Configuración del sistema de generación mediante paneles FV y baterías dentro del modelo LREM (Li, 2016)

Escenario A: Generación Solar		Unidades
Coste unitario	0,50	\$/kWh
Demanda total esperada	39168,146	kW
Porcentaje de Demanda Cubierta	99,88%	%
Panel FV	100,13%	%
Baterías	49,63%	%

Figura 5.36: Resultados del mix de generación para el escenario A (paneles FV y baterías).

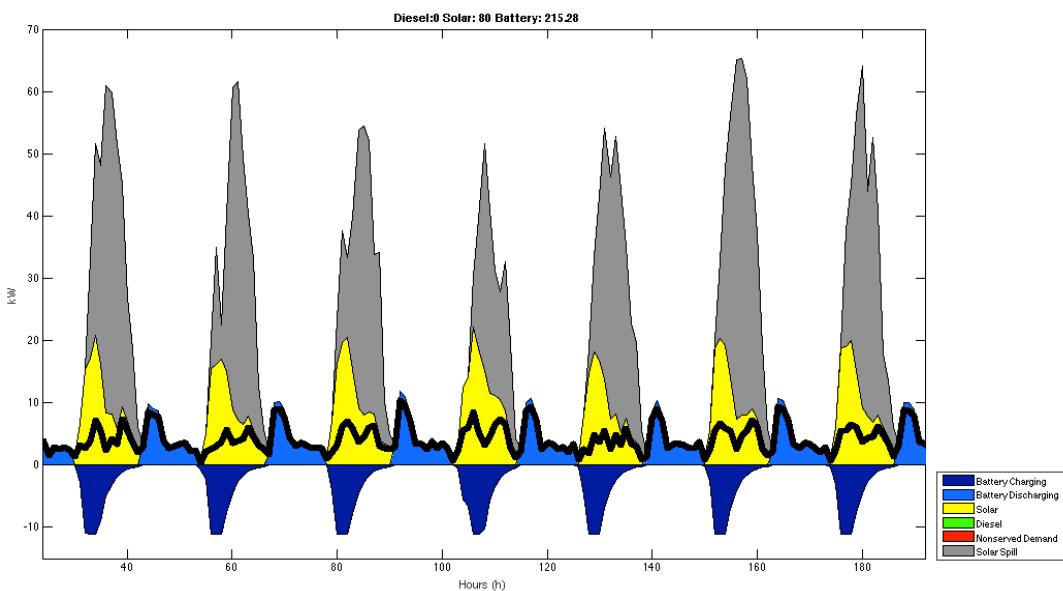


Figura 5.37: Despacho de la microrred de Huitotos de Negro Urco para el escenario de generación A (paneles FV y baterías)

Cálculo de los Ingresos Anuales para el Escenario A: Generación Solar							
	Viviendas	Colegio Primaria	Colegio Secundaria	Tiendas	Ayuntamiento	Iglesia	Centro de Salud
Tarifa Mensual Unitaria (\$./mes)	14,77	13,47	56,56	276,97	158,22	195,05	405,41
Tipo de cambio (\$ a S.)	3,27	3,27	3,27	3,27	3,27	3,27	3,27
Tarifa Mensual Unitaria (\$/mes)	4,52	4,12	17,30	84,70	48,39	59,65	123,98
Consumo mensual unitario (kWh)	30,03	98,15	502,56	26,70	284,68	352,26	738,24
Coste (\$/kWh)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Cargo Bruto de Energía (\$/mes)	15,02	49,08	251,28	13,35	142,34	176,13	369,12
Subvenciones (FOSE)	62,5%	18,75 kWh/mes	-	62,5%	-	-	-
Ingresos por Subvenciones (\$/mes)	9,38	9,38	-	8,34	-	-	-
Ingresos Totales Unitarios (\$/mes)	13,90	13,49	17,30	93,04	48,39	59,65	123,98
Número de Unidades	94	1	1	5	1	1	1
Ingresos Totales (\$/año)	15680,87	161,93	207,57	5582,63	580,63	715,79	1487,76
						TOTAL (\$)	24417,17

Figura 5.38: Cálculo de los ingresos anuales para el escenario de generación A (paneles FV+baterías) para la microrred de Huitotos de Negro Urco

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos Anuales	\$ -	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17
Gastos Anuales	\$ 122.320,28	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62
<i>Red</i>	\$ 17.691,15	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43
<i>Instalación</i>	\$ 17.377,72	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Prevención</i>	\$ 14,73	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Corrección</i>	\$ 298,70	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>O&M</i>	\$ -	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43
<i>Generación</i>	\$ 104.629,13	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19
<i>Instalación</i>	\$ 104.629,13	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Paneles FV</i>	\$ 56.000,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Baterías</i>	\$ 43.243,20	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Conversor</i>	\$ 2.333,69	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Controlador</i>	\$ 3.052,23	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>O&M</i>	\$ -	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19
Beneficios = Flujo de Caja	\$ -122.320,28	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55
FC Agregado	\$ -122.320,28	\$ -98.249,73	\$ -74.179,18	\$ -50.108,63	\$ -26.038,08	\$ -1.967,53	\$ 22.103,02	\$ 46.173,57	\$ 70.244,12	\$ 94.314,67	\$ 118.385,22	\$ 142.455,77	\$ 166.526,32
Factor de descuento (Tasa 10%)	1,00	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39	0,35	0,32
Valor Actual FC	\$ -122.320,28	\$ 21.882,32	\$ 19.893,02	\$ 18.084,56	\$ 16.440,51	\$ 14.945,92	\$ 13.587,20	\$ 12.352,00	\$ 11.229,09	\$ 10.208,26	\$ 9.280,24	\$ 8.436,58	\$ 7.669,62

Año	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Ingresos Anuales	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17	\$ 24.417,17
Gastos Anuales	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62	\$ 346,62
<i>Red</i>	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43
<i>Instalación</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Prevención</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Corrección</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>O&M</i>	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43
<i>Generación</i>	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19
<i>Instalación</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Paneles FV</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Baterías</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Conversor</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Controlador</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>O&M</i>	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19	\$ 33,19
Beneficios = Flujo de Caja	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55	\$ 24.070,55
FC Agregado	\$ 190.596,87	\$ 214.667,42	\$ 238.737,97	\$ 262.808,52	\$ 286.879,07	\$ 310.949,62	\$ 335.020,17	\$ 359.090,72	\$ 383.161,27	\$ 407.231,82	\$ 431.302,37	\$ 455.372,92	\$ 479.443,47
Factor de descuento (Tasa 10%)	0,29	0,26	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09
Valor Actual FC	\$ 6.972,38	\$ 6.338,53	\$ 5.762,30	\$ 5.238,45	\$ 4.762,23	\$ 4.329,30	\$ 3.935,73	\$ 3.577,93	\$ 3.252,67	\$ 2.956,97	\$ 2.688,15	\$ 2.443,78	\$ 2.221,62

Valor Actual Neto del Proyecto \$ 96.169,07

Figura 5.39: Estudio financiero del escenario A (paneles FV+baterías) para la microrred de Huitotos de Negro Urco

5.3.3.2. Escenario B: Generación Híbrida

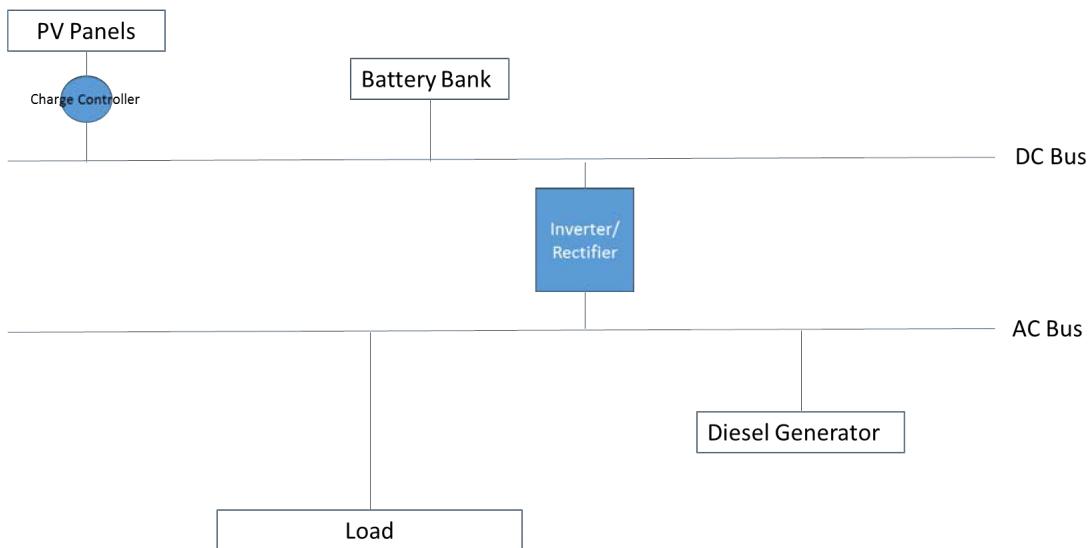


Figura 5.40: Configuración del sistema de generación híbrida (paneles FV, baterías y diésel) dentro del modelo LREM (Li, 2016)

Escenario B: Generación Híbrida		Unidades
Coste unitario	0,40	\$/kWh
Demanda total esperada	41906,816	KW
Porcentaje de Demanda Cubierta	98,84%	%
<i>Paneles FV</i>	52,04%	%
<i>Generador Diesel</i>	48,04%	%
<i>Baterías</i>	2,63%	%

Figura 5.41: Resultados del mix de generación para el escenario B (paneles FV, baterías y diésel)

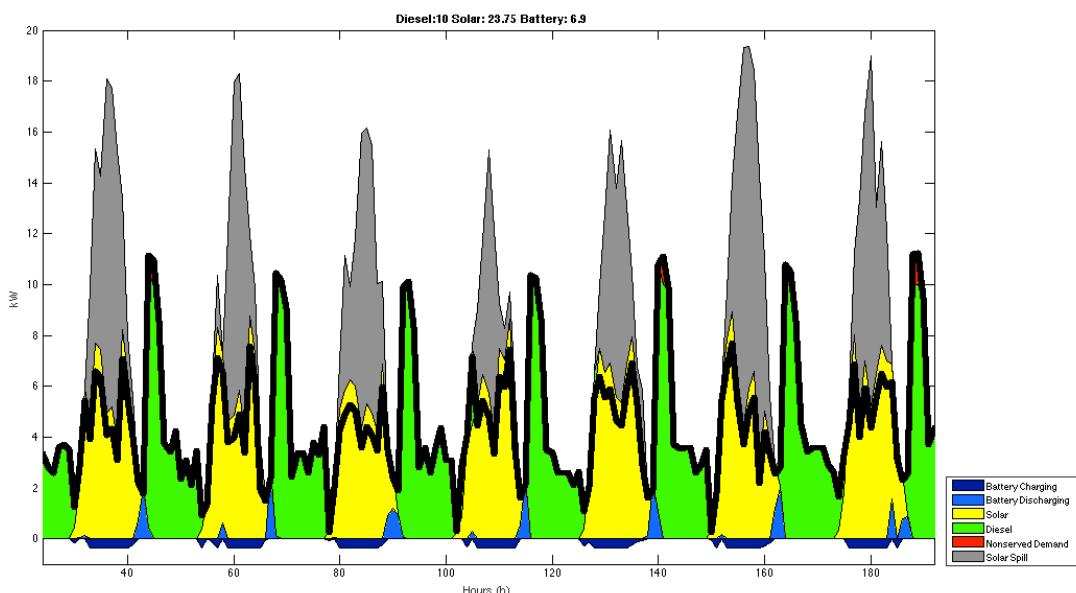


Figura 5.42: Despacho de la microrred de Huitotos de Negro Urco para el escenario de generación B (paneles FV, baterías y diésel)

Cálculo de los Ingresos Anuales para el Escenario B: Generación Híbrida							
	Viviendas	Colegio Primaria	Colegio Secundaria	Tiendas	Ayuntamiento	Iglesia	Centro de Salud
Tarifa Mensual Unitaria (\$./mes)	14,77	13,47	56,56	276,97	158,22	195,05	405,41
Tipo de cambio (\$ a S.)	3,27	3,27	3,27	3,27	3,27	3,27	3,27
Tarifa Mensual Unitaria (\$/mes)	4,52	4,12	17,30	84,70	48,39	59,65	123,98
Consumo mensual unitario (kWh)	30,03	98,15	502,56	26,70	284,68	352,26	738,24
Coste (\$/kWh)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Cargo Bruto de Energía (\$/mes)	12,01	39,26	201,02	10,68	113,87	140,90	295,30
Subvenciones (FOSE)	62,5%	18,75 kWh/mes	-	62,5%	-	-	-
Ingresos por Subvenciones (\$/mes)	7,51	7,50	-	6,68	-	-	-
Ingresos Totales Unitarios (\$/mes)	12,02	11,62	17,30	91,37	48,39	59,65	123,98
Número de Unidades	94	1	1	5	1	1	1
Ingresos Totales (\$/año)	13563,69	139,43	207,57	5482,49	580,63	715,79	1487,76
						TOTAL (\$)	22177,36

Figura 5.43: Cálculo de los ingresos anuales para el escenario de generación B (paneles FV, baterías y diésel) para la microrred de Huitotos de Negro Urco

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos Anuales	\$ -	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36
Gastos Anuales	\$ 48.914,49	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84
<i>Red</i>	\$ 18.561,31	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43
<i>Instalación</i>	\$ 18.247,88	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Prevención</i>	\$ 14,73	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Corrección</i>	\$ 298,70	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>O&M</i>	\$ -	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43
<i>Generación</i>	\$ 30.353,18	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41
<i>Instalación</i>	\$ 30.353,18	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Paneles FV</i>	\$ 16.625,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Baterías</i>	\$ 1.386,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Diésel</i>	\$ 8.357,73	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Conversor</i>	\$ 2.593,69	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Controlador</i>	\$ 1.390,77	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>O&M</i>	\$ -	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41
Beneficios = Flujo de Caja (FC)	\$ -48.914,49	\$ 21.464,51	\$ 21.464,51	\$ 21.464,51	\$ 21.464,51	\$ 21.464,51	\$ 21.464,51	\$ 21.464,51	\$ 21.464,51	\$ 21.464,51	\$ 21.464,51	\$ 21.464,51	\$ 21.464,51
FC Agregado	\$ -48.914,49	\$ -27.449,98	\$ -5.985,47	\$ 15.479,04	\$ 36.943,55	\$ 58.408,06	\$ 79.872,57	\$ 101.337,08	\$ 122.801,59	\$ 144.266,10	\$ 165.730,61	\$ 187.195,12	\$ 208.659,63
Factor de descuento (Tasa 10%)	1,00	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39	0,35	0,32
Valor Actual FC	\$ -48.914,49	\$ 19.513,19	\$ 17.739,26	\$ 16.126,60	\$ 14.660,55	\$ 13.327,77	\$ 12.116,16	\$ 11.014,69	\$ 10.013,35	\$ 9.103,05	\$ 8.275,50	\$ 7.523,18	\$ 6.839,25

Año	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Ingresos Anuales	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36	\$ 22.177,36
Gastos Anuales	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84	\$ 712,84
<i>Red</i>	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43
<i>Instalación</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Prevención</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Corrección</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>O&M</i>	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43	\$ 313,43
<i>Generación</i>	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41
<i>Instalación</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Paneles FV</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Baterías</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Diésel</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Conversor</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Controlador</i>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>O&M</i>	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41	\$ 399,41
Beneficios = Flujo de Caja (FC)	\$ 21.464,51												
FC Agregado	\$ 230.124,14	\$ 251.588,65	\$ 273.053,16	\$ 294.517,67	\$ 315.982,18	\$ 337.446,69	\$ 358.911,20	\$ 380.375,71	\$ 401.840,22	\$ 423.304,73	\$ 444.769,24	\$ 466.233,75	\$ 487.698,26
Factor de descuento (Tasa 10%)	0,29	0,26	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09
Valor Actual FC	\$ 6.217,50	\$ 5.652,28	\$ 5.138,43	\$ 4.671,30	\$ 4.246,64	\$ 3.860,58	\$ 3.509,62	\$ 3.190,56	\$ 2.900,51	\$ 2.636,83	\$ 2.397,12	\$ 2.179,20	\$ 1.981,09

Valor Actual Neto del Proyecto \$ 145.919,73

Figura 5.44: Estudio financiero del escenario B (paneles FV, baterías y diésel) para la microrred de Huitotos de Negro Urco

5.3.4. Conclusión

La forma más rentable y eficiente de proporcionar acceso eléctrico a la comunidad de Huitotos de Negro Urco es la **generación híbrida**.

- El Valor Actual Neto del proyecto es mayor (\$145.919,73 frente a \$96.169)
- La inversión inicial se recuperaría antes (3,27 años frente a 6,08 años)

No obstante, también se presentan algunos inconvenientes:

- La generación híbrida tiene un porcentaje de demanda cubierta ligeramente inferior (98,84% frente a 99,88%).
- La disponibilidad del combustible diesel podría verse afectada por las crecidas del río. Puesto que la única forma de acceder a este poblado es la navegación por el río Napo, especialmente para el transporte de mercancías, cualquier crecida podría cortar inesperadamente el suministro.
- Este mismo problema podría afectar al mantenimiento del generador. Debido a la ausencia de mano de obra experta, los generadores diésel en lugares remotos suelen hacer frente a frecuentes reparaciones. Si el transporte de los recambios se retrasa, el poblado podría quedarse a oscuras durante varios días; problema mucho menos frecuente con los sistemas solares. Además, el coste de la energía no suministrada (que suele rondar los \$0,7/kWh) podría ser relevante al cabo del año. En un escenario optimista, con una tasa de fallos del 3%, 10 días de cortes en un año, este coste podría alcanzar los \$512/año, o el equivalente a S/. 1680.

Coste de la Energía No Suministrada (S.)							
	Viviendas	Colegio Primaria	Colegio Secundaria	Tiendas	Ayuntamiento	Iglesia	Centro de Salud
Consumo Mensual Unitario (kWh)	30,03	98,15	502,56	26,70	284,68	352,26	738,24
							TOTAL (kWh/mes)
Energía No Suministrada (kWh/año)	731,75						
*Tasa de Fallos	3%						
*Nº Cortes al Año	10,95						
Coste de la Energía No Suministrada (S.)	512,22						
Coste de la Energía No Suministrada (S.)	1680,10						

Figura 5.45: Coste de la Energía No Suministrada para la microrred híbrida de Huitotos de Negro Urco

- El precio del combustible (aquí estimado como S/. 12 por galón, o \$1/L) podría incrementarse sustancialmente debido a problemas de logística con el transporte fluvial.
- Las emisiones de carbono procedentes del generador diésel también podrían incrementar el coste final.
- Por último, la generación híbrida implica emplear una pequeña parte de combustibles fósiles, con su correspondiente efecto dañino sobre el medioambiente y la salud de la población.

Por estas razones, y a pesar de que las microrredes híbridas suelen ser más económicas que las puramente renovables, muchas comunidades tienden a instalar microrredes renovables. En este proyecto, se decide escoger la generación híbrida por sus implicaciones económicas. No obstante, para la implementación final, se deben tener en cuenta las preferencias de la población local en cuanto al tipo de tecnología, y sus efectos sobre el capital natural y social, tal como indica (Santos Pérez, 2015).

Capítulo 6. – Análisis de Sostenibilidad

6.1. Introducción

Según Jeffrey Sachs, director del Earth Institute en la Universidad de Columbia (NY, EEUU), para que un proyecto de desarrollo mejore la sociedad, este debe:

- Ser *socialmente inclusivo*, tanto por región, como por clase social o género
- Proteger el medioambiente
- Estar bien *gobernado* en cuanto a servicios, protección contra la corrupción, aplicación de derechos, etc.

En esta línea, se plantea aquí un análisis de sostenibilidad, que estudiará cómo las mejoras propuestas en el Capítulo 4 (ODS-6) y en el Capítulo 5 (ODS-7), afectan al resto de Objetivos del Desarrollo Sostenible en sus tres dimensiones (económica, natural y social).

Para ello, se analizará:

- La relación del acceso a electricidad y agua potable con el capital económico de la región
- El impacto medioambiental de la ETAP, los SDF del programa “Luz en Casa Amazonía” y la microrred diseñada para Huitotos de Negro Urco
- Las mejoras a nivel humano y social resultado de dar acceso a electricidad y agua potable a estas poblaciones

6.2. Capital Económico

6.2.1. Agua Potable

Según (OCDE, 2011), la mayor parte de los beneficios económicos resultantes de las inversiones en saneamiento de agua están relacionados con la **mayor disponibilidad de tiempo** de los habitantes afectados. Por ejemplo, (Hutton, Haller, & Bartram, 2006) asume que un hogar con acceso a agua potable gana de media 30 minutos al día, 90 minutos si este agua se recibe a través de un sistema de tuberías. Estos ahorros de tiempo se suelen evaluar con el salario mínimo y podrían justificar las inversiones en el acceso por sí solos. No obstante, es difícil monetizar tiempo que puede no ser utilizado para fines productivos. (Carincross & Valdmanis, 2006) utiliza otro método basado en la recolección de agua, asumiendo que las familias pagan a terceros por recolectar su agua, y encontró que, de media, los hogares gastan el 20% de sus ingresos en comprar agua.

Asimismo, (Giugale et al., 2007) señala que las mejoras en el acceso a agua potable tienen efectos muy significativos en los indicadores de nutrición, salud e incluso educación. En esta línea, algunas de las posibles ventajas para el capital económico de la región son la erradicación de epidemias, la consecuente **reducción del gasto municipal en salud pública**.

Por otro lado, (Margulis, 2002) defiende que pequeñas inversiones en la mejora de la calidad de agua pueden tener un gran impacto para hogares con pocos recursos. Estas ventajas podrían estar relacionadas con el **aumento de la actividad económica** de la región y la creación de empleo a través de, por ejemplo, una mejor agricultura.

Según (Eid, 2015), hay enormes beneficios económicos detrás de las mejoras en el acceso a agua potable. La OMS estima que, por cada dólar invertido en mejorar la calidad del agua, habrá un retorno económico de 4 dólares, resultado de mejoras en salud y **productividad**. Así, la OMS estima que la pérdida total económica a nivel mundial por año, resultado de la falta de acceso a agua potable se estima en \$260 billones, y que algunos países en África-subsahariana estarían perdiendo entre el 4-6% del PIB debido a su mala calidad del agua.

6.2.2. Electricidad

(Ferguson et al., 2000) demostró la correlación directa entre el consumo eléctrico unitario y el **PIB per cápita**. En concreto, este estudio demuestra que el coeficiente es del 0,803 para los países latinoamericanos. Por consecuente, si la población de Huitotos de Negro Urco logra un consumo anual unitario de 365 kW/h, el PIB de cada uno de sus habitantes podría mejorar en 293 puntos, como resultado de las actividades a las que podrán acceder gracias a este acceso. Lo mismo aplica para los poblados de Nuevo Antioquía, Nueva Unión y Vencedores del Zapote, beneficiados de los SFD de AMP.

Por otro lado, caben destacar los ahorros que resultarán de **sustituir las formas tradicionales de energía**. (FOMIN, 2014) demostró para el caso de los SFD de AMP, que tenían un coste de S/10 al mes, frente a los cercanos S/14.73 que se proponen

para la microrred de Huitotos, el cambio permitía a los hogares reducir la compra de velas en un 85% y la de baterías en un 94%. Aunque esta reducción es aparentemente baja (el equivalente a \$2,5 en velas y \$1,1 en baterías), representa una fracción muy importante del ingreso per cápita mensual de los usuarios.

Asimismo, y dado que los usuarios beneficiarios ahora cuentan con más horas de iluminación, pueden dedicar tiempo a otras actividades con el potencial de **reducir gastos**, como la recolección de leña. La mayor parte de los usuarios de esta región emplean leña para cocinar. Ahora los hogares con acceso eléctrico podrán comprar menos leña y recolectar más, reduciendo el gasto (aunque no el consumo) y ahorrar alrededor de \$4,9 mensualmente (FOMIN, 2014).

Por último, tanto el mayor número de horas de vigilia, como el ahorro económico podrían favorecer la **generación de nuevos ingresos** para los hogares. Por ejemplo, la adquisición de equipos domésticos que mejoren el acceso a medios de comunicación, como la televisión, la radio u el ordenador, podrían permitir a los habitantes optar a nuevas formas de generación de ingresos por Internet (Calcina & Hidalgo, 2014).

En esta línea, a través del acceso eléctrico, la región podría mejorar su **cobertura móvil**. (Vakis, Rigolini, & Lucchetti, 2016) demostró que la expansión del móvil en zonas rurales aumentó el consumo real de los hogares en 11 puntos porcentuales, y disminuyó la pobreza en más de 5 puntos, tal como se puede ver en la siguiente imagen. Además, estos beneficios aumentan con el tiempo: haber recibido señal móvil hace nueve años estaba asociado con una diferencia en el índice de pobreza del 155. Algunos de los canales a través de los cuales los poblados podrían reducir su pobreza son: reducción de asimetrías en la información y costes de búsqueda, más facilidades en las formas de pago y reducción de tiempos en desplazamiento, potencial mejora en la productividad de la agricultura, etc.

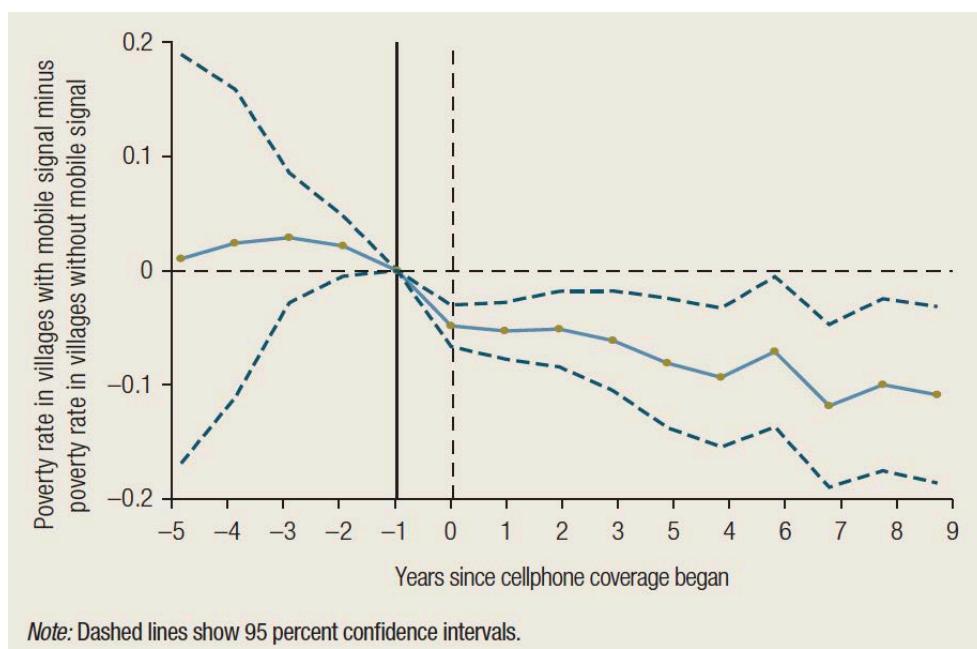


Figura 6.1: Efecto de la cobertura móvil en el índice de pobreza rural en Perú (Vakis et al., 2016)

6.3. Capital Natural

6.3.1. Agua Potable

Al mejorar el acceso a agua potable de las poblaciones seleccionadas en el río Napo mediante una ETAP, se estaría mejorando la **calidad superficial** del río Napo aguas abajo también. No obstante, cabe destacar que el caudal que pasará por la ETAP es un pequeño porcentaje del caudal total del río Napo, que cuenta con unas aguas muy caudalosas al ser uno de los principales afluentes del Amazonas.

Dado que el río se ha visto contaminado en varias ocasiones por las explotaciones de petróleo aguas arriba, la ETAP podría mejorar la **biodiversidad** del río aguas abajo, la calidad del **agua de irrigación** para fines agrícolas y con ello, también la **calidad del suelo** de la región.

Por otra parte, la ETAP podría suponer la **alteración del ecosistema acuático**, ya que algunos de los peces del río podrían verse afectados por la recolección del agua, o las rejas de desbaste y tamizado de la entrada.

6.3.2. Electricidad

(FOMIN, 2014) determinó que, gracias a los SFD, los habitantes son capaces de reducir su **consumo de pilas** en 1,77kg/año y sus **emisiones de CO2** en 161kg/año. La microrred de Huitotos de Negro Urco, por otra parte, tendría un impacto en el capital natural más limitado, al contar con un pequeño generador diésel para apoyar la generación solar.

Al reducir las emisiones de CO2 de la región, se estaría también mejorando la **calidad del aire**, y con ello la **biodiversidad** de la selva.

En cualquier caso, podría verse una mejora en la **tasa de deforestación** de la región. Al contar con acceso eléctrico, los hogares podrían empezar a utilizar nuevas formas de cocción que sustituyesen la leña, como cocinas solares o placas eléctricas.

Por otra parte, (Vakis et al., 2016) demostró la relación entre el acceso eléctrico y el índice de pobreza. Este último, a su vez, está relacionado con el porcentaje de población afectada por **desastres naturales**. Cuanta menos población se vea afectada por inundaciones, temporales y altas temperaturas, menos será necesario reconstruirlos hogares y recurrir de nuevo a la deforestación.

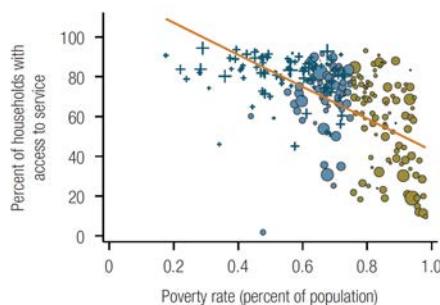


Figura 6.2: Relación entre el acceso eléctrico y el índice de pobreza (Vakis et al., 2016)

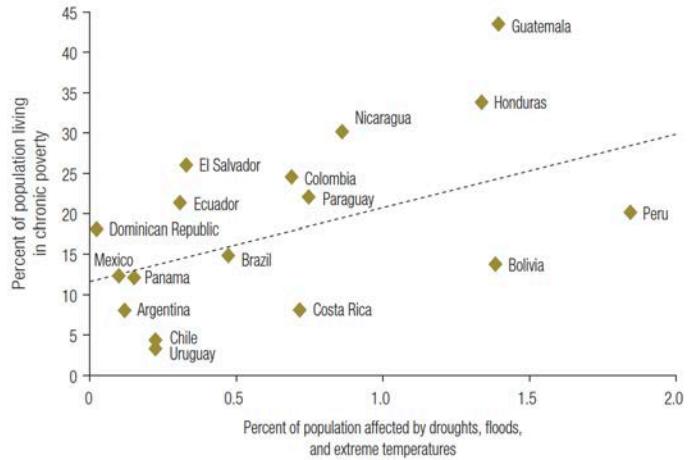


Figura 6.3: Relación entre el índice de pobreza y la población afectada por desastres naturales (Vakis et al., 2016)

6.4. Capital Social

6.4.1. Agua Potable

Al proporcionar acceso a agua potable, se estaría mejorando la **salud** de la población de manera directa. No solo se estaría disminuyendo el riesgo de epidemias y mosquitos, mejorando el **bienestar** de la población, también se reduciría el riesgo de enfermedades intestinales. Según (Hutton et al., 2006), algunas de las enfermedades más importantes que se podrían evitar están relacionadas con la diarrea infecciosa, como por ejemplo: el cólera, la salmonelosis, la shigellosis, la amebiasis, y otras infecciones intestinales víricas. Este impacto suele verse reflejado en una reducción del **índice de mortalidad**, especialmente para mujeres y niños recién nacidos (Cheng, Schuster-Wallace, Watt, Newbold, & Mente, 2012).

Por otra parte, (FAO Water, 2016) defiende que uno de los beneficios del acceso a agua potable es la mejora en la **seguridad alimenticia**, a través de una mejor agricultura. Esto también estaría relacionado con una reducción del índice de mortalidad.

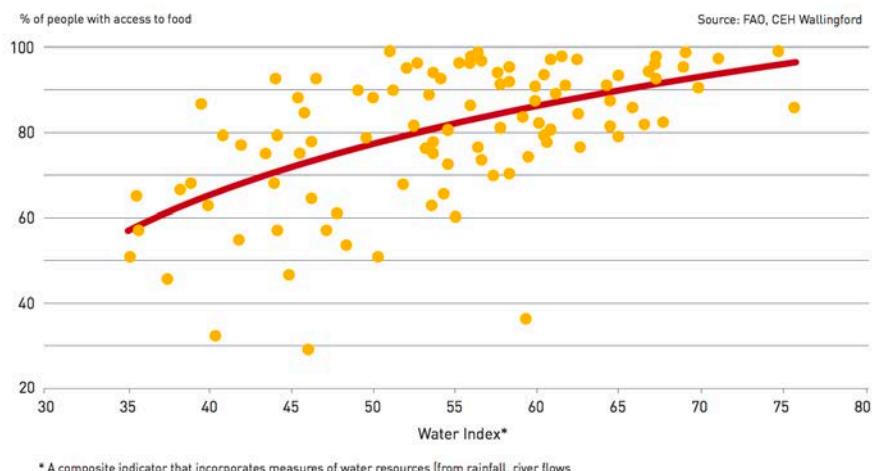


Figura 6.4: Relación entre el acceso a agua potable y la seguridad alimenticia (FAO Water, 2016)

Al mejorar el acceso a agua potable, también se estaría trabajando por la **igualdad de género**, y por los **derechos de los niños**, ya que estos son los principales responsables de la recolección del agua en las zonas rurales, mientras los hombres se encargan de la caza y la agricultura.

6.4.2. Electricidad

Muchas de las ventajas observadas para el acceso a agua potable, se podrían observar al mejorar el acceso a electricidad.

Al mejorar el acceso eléctrico, se estaría mejorando de forma directa la **salud pública**. Se proporcionaría acceso al centro de salud pública de los poblados, dando opción a mejorar sus instalaciones y equipos.

Asimismo, se proporcionaría acceso a las viviendas, lo que según (World Bank, 2008) resultaría en las siguientes ventajas:

- Mejora en la calidad del aire en el interior de las viviendas al sustituir las formas tradicionales de energía (leña, queroseno, velas, etc.). Estas son responsables de entre 1,6 y 2 millones de muertes al año, y afectan sobre todo a mujeres, responsables de la cocina en el hogar, y niños menores de cinco años, que todavía no asisten al colegio.
- Acceso a información sobre salud y fertilidad. Al proporcionar acceso eléctrico a las viviendas, se abre la oportunidad de adquirir una TV o radio, a través de las cuales los hogares pueden recibir más información sobre hábitos saludables y métodos anticonceptivos.
- Mejor nutrición a través del acceso a sistemas de refrigeración.

En este sentido, mejorar el acceso eléctrico es equivalente a mejorar la **igualdad de género**. No solo se estaría dando más poder de decisión a la mujer, y mejorando su salud, sino que también se le estaría proporcionando la posibilidad de utilizar el tiempo que antes empleaba para encender leña o comprar velas en otras funciones más productivas para el hogar, lo que podrían en última instancia dotarle de la posibilidad de ejercer un trabajo.



Figura 6.5: Mujer trabajando en artesanía gracias a la mejora en el acceso eléctrico de su hogar (World Bank, 2008)

Por otro lado, al proporcionar iluminación dentro y fuera de los hogares, se estaría aumentando la **seguridad** del poblado, disminuyendo el riesgo de accidentes y violaciones.

Finalmente, mejorar el acceso eléctrico implicaría mejorar el acceso a la **educación**. Ahora los colegios de primaria y secundaria de los poblados podrían contar con iluminación y además incluir nuevos equipos en sus aulas, como ordenadores. Asimismo, los alumnos podrían estudiar en sus hogares al contar con iluminación allí también. (FOMIN, 2014) demostró para el proyecto “Luz en Casa” de AMP que, si bien la proporción de niños matriculados que hace tareas escolares era la misma, los niños en hogares con electricidad pasan más tiempo haciendo tareas (8,8 minutos más, en promedio). Esto se tradujo en más años de escolaridad para niños que atendían a la escuela primaria y han estado expuestos desde más pequeños al acceso eléctrico (0,4 años de escolaridad adicionales en 2 años y 9 meses de exposición promedio). Esta diferencia en años de escolaridad, no se apreciaba en niños mayores, pero se observaba una mayor proporción de estos niños matriculados en la escuela secundaria. Estimaciones de los retornos económicos a la educación indican que, por cada año adicional de escolaridad, los ingresos aumentan entre 7% y 11%.



Figura 6.6: Niño estudiando en su casa gracias a los SFD instalados por Acciona Microenergía Perú (FOMIN, 2014)

Capítulo 7. – Conclusión

7.1. Efectos de las Mejoras Sugeridas

Como ya se ha mencionado anteriormente, las cifras actuales de acceso a electricidad y agua potable en el distrito de Napo, Loreto (Perú), son 25,5% y 4,5%, respectivamente, para un total de 2.491 viviendas, según cifras de (Banco Interamericano de Desarrollo, 2010).

El número de viviendas en los poblados de la región de estudio, según cifras del SICNA se detalla a continuación:

Población	Número de Viviendas
Nueva Floresta	18
Nueva Unión	15
Nuevo Antioquía	14
Vencedores de Zapote	25
Negro Urco	53
Huitotos de Negro Urco	94
TOTAL	219

Figura 7.1: Número de viviendas en los poblados de la región de estudio

Así, mediante la ETAP dimensionada en 4.3 se incrementaría el porcentaje de acceso a agua potable en el distrito de Napo a un 13,3% en total.

En cuanto al acceso eléctrico, mediante el proyecto “Luz en Casa Amazonía” (ver 5.2.2), que afecta a Nueva Unión, Nuevo Antioquía y Vencedores de Zapote, se estaría incrementando el porcentaje de acceso eléctrico en un 2,2%.

Por otro lado, mediante la microrred de generación híbrida para Huitotos de Negro Urco (ver 5.3), se incrementaría un 3,7% adicional.

En total, el nuevo acceso eléctrico en el distrito de Napo sería de un 31,4%.

7.2. Impacto sobre los ODS

En esta sección, se estudiará como las mejoras en el acceso a electricidad (ODS-7) y agua potable (ODS-6) afectarán los demás Objetivos del Desarrollo Sostenible, presentados en la sección 1.1.1.



(Vakis et al., 2016) ya demostró que existe una relación directa entre el acceso a electricidad y agua potable y el índice de pobreza.



Como (FAO Water, 2016) indica, mejorar el acceso a agua potable está directamente relacionado con una mayor seguridad alimenticia.



(Hutton et al., 2006), (Cheng et al., 2012) y (World Bank, 2008) confirman la relación del acceso a agua potable y electricidad con la reducción de epidemias, enfermedades intestinales, y la mejora en la calidad del aire.



(FOMIN, 2014) confirmó la mejora en la tasa de escolaridad, tanto de primaria como de secundaria, gracias al mayor acceso eléctrico de los hogares.



(World Bank, 2008) y (FOMIN, 2014) demostraron que al mejorar el acceso a agua potable y electricidad, se trabajaba por la igualdad de género, otorgando más tiempo libre a las mujeres para poder desarrollar su propio empleo.

(Eid, 2015), (Margulis, 2002), (Ferguson et al., 2000) y otros, confirmaron la relación entre las mejoras en el acceso a electricidad y agua potable y el aumento de la actividad económica de la región.



Según (World Bank, 2008), al mejorar el acceso eléctrico se estaría mejorando directamente el acceso a la información de la población, reduciendo así posibles desigualdades entre las poblaciones rurales aisladas y las urbanas.

(Margulis, 2002) defiende que mejorar el acceso a agua potable podría tener un gran impacto en la agricultura local, favoreciendo así la producción y consumo responsables.



Como muestran (FOMIN, 2014) y (Vakis et al., 2016), al sustituir las formas tradicionales de energía, como leña o queroseno, se estarían reduciendo las emisiones de CO₂ de la población, contribuyendo a la lucha contra el clima.

Al mejorar la calidad del agua superficial en el río Napo mediante la ETAP, se podría mejorar la vida submarina del río aguas abajo.



(Vakis et al., 2016) demostró la relación entre el acceso eléctrico, la reducción del índice de pobreza y la tasa de población afectada por desastres naturales. Así, dando acceso eléctrico se aseguraría una mayor protección de los hogares, normalmente fabricados a partir de leña, y se disminuiría la tasa de deforestación.

7.3. Comentarios Finales

Perú es uno de los países de América Latina con mayores desigualdades entre sus poblaciones urbana y rural, especialmente en términos de desarrollo de infraestructura (Giugale et al., 2006).

En el presente proyecto se han querido abordar dos de los principales objetivos de la ONU para luchar contra la pobreza: el acceso universal a electricidad y agua potable.

Mediante la ETAP diseñada en el apartado 4.3, los SFD3G de Acciona Microenergía Perú descritos en 5.2.2 y la microred de generación híbrida diseñada en 5.3, se han sugerido medidas concretas para mejorar las condiciones de vida de distintos poblados en la ribera del río Napo, que podrían aumentar los porcentajes de acceso a estos servicios básicos en casi un 9% en el caso del agua, y un 6% en el caso de la electricidad.

Aunque estas cifras puedan parecer prácticamente insignificantes en comparación con los grandes desafíos a los que tiene que hacer frente el país, es importante mantener en mente las ideas de (Schumacher, 1989), y sus esfuerzos por dar importancia a las pequeñas acciones en materia de desarrollo.

En sus palabras, si el propósito del desarrollo es ayudar a aquellos que más lo necesitan, el “regionalismo”, entendido como el desarrollo de todas las regiones de un país, debe ser el objetivo prioritario en la agenda de cualquier país.

Y es que, el ser humano tiene la obligación moral de utilizar su potencial tecnológico y científico para luchar contra la pobreza y la miseria de forma consciente.

En palabras de Jim Young Kim, presidente del Banco Mundial, “*a few committed souls can change the world*”,

Bibliografía

20minutos. (2012). Especies del Río Amazonas. Recuperado 10 de junio de 2017, a partir de <http://listas.20minutos.es/lista/especies-del-rio-amazonas-317004/>

Acemoglu, D. (2012). *The World Our Grandchildren Will Inherit: The Rights Revolution And Beyond*. MIT.

Agencia Pública de Noticias de Ecuador y Sudamérica. (2013). La petrolera Río Napo destaca sus resultados de operaciones 2012. Recuperado 13 de febrero de 2017, a partir de [/es/econom%C3%ADa/petrolera-r%C3%ADo-napo-destaca-sus-resultados-operaciones-2012.html](http://es/econom%C3%ADa/petrolera-r%C3%ADo-napo-destaca-sus-resultados-operaciones-2012.html)

Amazonian Network of Georeferenced Socio-Environmental Information. (2012). Amazonia Under Pressure.

ANA. (2016). *Monitoreo de la Calidad de Agua Superficial Cuenca del Río Napo* (Técnico No. 008-2016-ANA-DGCHR/GOCRH). Lima: Ministerio de Agricultura y Riego de Perú.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2010). Estudio Binacional de Navegabilidad del Río Napo (Ecuador-Perú).

Bara Neto, P., Sanchez, R. J., Wilmsmeier, G., United Nations, Economic Commission for Latin America and the Caribbean, & División de Recursos Naturales e Infraestructura. (2006). *Hacia un desarrollo sustentable e integrado de la Amazonía: los corredores de transporte en la cuenca amazónica central-occidental y sus afluentes principales en Brasil, Colombia, Ecuador y Perú*. Santiago de Chile: Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, División de Recursos Naturales e Infraestructura.

Beer, S. (1984). The Viable System Model: Its Provenance, Development, Methodology and Pathology. *Journal of the Operational Research Society*, 35(1), 7-25. <https://doi.org/10.1057/jors.1984.2>

BID. (2012). Estrategia de País de Perú: 2012-2016.

Brasil, & Agência Nacional de Águas. (2009). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2009*. Brasília DF: Agência Nacional de Águas.

Calcina, L., & Hidalgo, B. (2014). Conectividad y Acceso a las Tecnologías de Información y Comunicación en la Amazonía Rural Peruana: Caso de la Cuenca del Río Napo. *FOLIA Amazónica*, 23(2), 187-198.

Carincross, S., & Valdmanis, V. (2006). Water Supply, Sanitation, and Hygiene Promotion. En *Disease Control Priorities in Developing Countries* (Segunda). Washington D.C.: World Bank.

Carrington, D. (2017). First images of unique Brazilian coral reef at mouth of Amazon. *The Guardian*. Recuperado a partir de <https://www.theguardian.com/environment/2017/jan/30/first-images-unique-brazilian-coral-reef-mouth-amazon>

Charity, S., Dudley, N., Oliveira, D., & Stolton, S. (2016). *Living Amazon Report 2016: A regional approach to conservation in the Amazon*. Brasilia y Quito: WWF Living Amazon Initiative.

Cheng, J. J., Schuster-Wallace, C. J., Watt, S., Newbold, B. K., & Mente, A. (2012). An ecological quantification of the relationships between water, sanitation and infant, child, and maternal mortality. *Environmental Health*.

Daly, H. E. (1987). The Economic Growth Debate: What Some Economists Have Learned But May Have Not. *Journal of Environmental Economics and Management*, (14), 323-336.

Daly, H. E. (1990). Toward some operational principles of sustainable development. *Ecological Economics*, 2, 1-6.

Douglas, B. (2016). Brazil Amazon dam project suspended over concerns for indigenous people. *The Guardian*. Recuperado a partir de <https://www.theguardian.com/world/2016/apr/22/brazil-amazon-dam-project-suspended-indigenous-munduruku-sao-luiz-do-tapajos>

Eid, U. (2015). The importance of water, sanitation, and hygiene as keys to national development | Water Institute. *Johns Hopkins Water Magazine*. Recuperado a partir de <http://water.jhu.edu/index.php/magazine/climate-change-and-health-why-the-link-to-water-is-critical/>

European Communities, Eva, H. D., Huber, O., European Commission, Joint Research Centre, Organização do Tratado de Cooperação Amazônica, & Delimitation of the Amazon Basin in South America (Eds.). (2005). *A proposal for defining the geographical boundaries of Amazonia*. Luxembourg: Publications Office.

Eva, H. D., Huber, O., Achard, F., Balslev, H., Beck, S., Behling, H., ... others. (2005). *A proposal for defining the geographical boundaries of Amazonia; synthesis of the results from an expert consultation workshop organized by the European Commission in collaboration with the Amazon Cooperation Treaty Organization-JRC Ispra, 7-8 June 2005*. EC. Recuperado a partir de <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/26674>

FAO. (2016). Sistema de Informacion sobre el Uso del Agua en la Agricultura de la FAO. Recuperado 10 de junio de 2017, a partir de <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/basins/amazon/indexesp.stm>

FAO Water. (2016). *Water at a Glance: The relationship between water, agriculture, food security and poverty*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ferguson, R., Wilkinson, W., & Hill, R. (2000). Electricity use and economic development. *Energy policy*, 28(13), 923–934.

Finner, M., Jenkins, C. N., Pimm, S. L., Keane, B., & Ross, C. (2008). Oil and Gas Projects in the Western Amazon: Threats to Wilderness, Biodiversity, and Indigenous Peoples. *PLOS ONE*, 3(8), e2932. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002932>

FOMIN. (2014). *De las velas a la luz eléctrica: el impacto de la electrificación rural*. BID.

Giugale, M., Fretes Cibils, V., & Newman, J. L. (Eds.). (2007). *An opportunity for a different Peru: prosperous, equitable, and governable*. Washington, D.C: World Bank.

Giugale, M. M., Fretes Cibils, V., & Newman, J. L. (2006). *Perú: la oportunidad de un país diferente ; próspero, equitativo y gobernable* (1. ed). Lima: Banco Mundial.

Hartwick, J. M. (1977). Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources. *The American Economic Review*, 67(5), 972-974.

Hicks, J. R. (1950). *Value and Capital: An Inquiry Into Some Fundamental Principles of Economic Theory*. Oxford University Press.

Hutton, G., Haller, L., & Bartram, J. (2006). *Economic and Health Effects of Increasing Coverage of Low Cost Water and Sanitation Interventions* (No. 2006/33). United Nations.

Jonathan Watts. (2016). Amazonian tribes unite to demand Brazil stop hydroelectric dams. *The Guardian*. Recuperado a partir de <https://www.theguardian.com/world/2015/apr/30/amazonian-tribes-demand-brazil-stop-hydroelectric-dams>

Lewinsohn, T. M., & Prado, P. I. (2005). How Many Species Are There in The Amazon? *Conservation Biology*, 19(3), 619-624.

Li, V. (2016). *A Comprehensive Decision-Making Tool for the Design of Rural Microgrids*. MIT (Massachusetts Institute of Technology), Boston.

Margulis, S. (Ed.). (2002). *Brazil, managing water quality: mainstreaming the environment in the water sector*. Washington, DC: World Bank.

Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50, 370-96.

Max-Need, M. (1993). *Desarrollo a escala humana: Conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones*. Icaria Editorial.

Meadows, D. H., & Club of Rome (Eds.). (1972). *The Limits to growth; a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe Books.

Ministerio de Energía y Minas de Perú. (2011). Guía de Orientación para la Selección de la Tarifa Eléctrica a Usuarios Finales en Baja Tensión.

Munasinghe, M. (2004). Sustainomics: A Trans-disciplinary Framework for Making Development More Sustainable. Munasinghe Institute for Development (MIND).

Municipalidad Provincial MAYNAS. (2010). Municipalidad Provincial MAYNAS. Recuperado 14 de abril de 2017, a partir de http://www.munimaynas.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=148&Itemid=71

National Geographic. (2015). Amazonia Under Threat. Recuperado 19 de enero de 2017, a partir de <http://www.nationalgeographic.com/climate-change/explore-amazonia/index.html>

National Geographic. (2016). Amazon Deforestation and Climate Change. Recuperado 11 de febrero de 2017, a partir de <http://www.nationalgeographic.org/media/amazon-deforestation-and-climate-change/>

Pineda Camacho. (2013). El río Amazonas: un gigante indomado. Una mirada hacia su historia contemporánea (1500-2010). *Boletín Cultural y Bibliográfico*, 47(84).

Platt, J. R. (2015). Amazon Trees Face Extinction Crisis, but There's Hope. Recuperado 11 de febrero de 2017, a partir de <https://blogs.scientificamerican.com/extinction-countdown/amazon-trees-crisis/>

Portillo Sisniega, L., Pérez Caverio, J., Tatham, A. F., & Kosinski, L. A. (2006). *Geografía universal*. Madrid: Club Internacional del Libro.

Prialé Ugás, M. (2012). *Evaluación integral para la promoción de fuentes de energía renovables, como alternativa para mejorar la calidad de vida de poblaciones aisladas de la Amazonía en América Latina*. Soluciones Prácticas.

Reuters. (2016). Indigenous group in Peru vows to block oil drilling on Amazon ancestral land. *The Guardian*. Recuperado a partir de <https://www.theguardian.com/world/2016/dec/09/peru-amazon-oil-indigenous-achuar-geopark-petrop Peru#img-1>

Santos Pérez, F. J. (2015). *Metodología de Ayuda a la Decisión para la Electrificación Rural apropiada en Países en Vías de Desarrollo*. Universidad Pontificia Comillas ICAI-ICADE, Madrid.

Schumacher, E. F. (1989). *Small is beautiful: economics as if people mattered*. New York: HarperPerennial.

Smith, A. (1759). *The theory of moral sentiments*. Kapaau (T.H.): Gutenberg Publishers.

Solow, R. (1992). An almost practical step toward sustainability.

Solow, R. (2009). An amateur among professionals. *Annual Review of Resource Economics*, 1, 1-14.

St. Fleur, N. (2015). Deforestation May Threaten Majority of Amazon Tree Species, Study Finds. *The New York Times*. Recuperado a partir de <https://www.nytimes.com/2015/11/21/science/deforestation-may-threaten-majority-of-amazon-tree-species-study-finds.html>

Trémolet, S., & Organisation for Economic Co-operation and Development (Eds.). (2011). *Benefits of investing in water and sanitation: an OECD perspective*. Paris: OECD.

United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: United Nations.

Vaitheeswaran, V. (2002). The great race. *The Economist*.

Vakis, R. N., Rigolini, J., & Lucchetti, L. (2016). *Left behind: chronic poverty in Latin America and the Caribbean*. Washington, D.C: World Bank.

Watts, J. (2014). Belo Monte, Brazil: The tribes living in the shadow of a megadam. *The Guardian*. Recuperado a partir de <https://www.theguardian.com/environment/2014/dec/16/belo-monte-brazil-tribes-living-in-shadow-megadam>

World Bank (Ed.). (2003). *Sustainable development in a dynamic world: transforming institutions, growth, and quality of life*. New York, NY: Oxford Univ. Press.

World Bank (Ed.). (2008). *The welfare impact of rural electrification: a reassessment of the costs and benefits ; an IEG impact evaluation*. Washington: World Bank.

World Comission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. United Nations.

Yates, J. J. (2012). Abundance on Trial: The Cultural Significance of «Sustainability». *The Hedgehog Review*, 14(2). Recuperado a partir de http://www.iasc-culture.org/THR/THR_article_2012_Summer_Yates.php