

TESIS DOCTORAL – PhD Dissertation

Programa de Doctorado en Desarrollo Local y Cooperación Internacional



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TÍTULO:

Acceso a la energía para el Desarrollo Humano Sostenible. Análisis de proyectos con Energías Renovables y modelos de gestión comunitarios en zonas rurales.

Energy access for Human and Sustainable Development. Analysing renewable energy projects with community management models in rural areas.

AUTOR:

Pau Lillo Rodrigo

DIRECTORAS:

Alejandra Boni Aristizábal

Laia Ferrer Martí

MAYO 2016

A la meua Reina Mora
i al meu Bombonet,
que m'alimenten el cor.

Contenido

Abreviaturas	7
Resumen	9
Abstract	11
Resum	13
Agradecimientos	15
1. Introducción.....	17
1.1 Presentación y justificación	17
1.2 Objetivos y Preguntas de investigación.....	19
1.3 Marco teórico de la investigación	20
1.3.1 Enfoque de Desarrollo Humano Sostenible	21
1.3.2 Evolución histórica de los enfoques tecnológicos en proyectos de desarrollo.....	23
1.3.3 Technologies for Freedom	25
1.4 Breve descripción de las tecnologías involucradas en la investigación.....	27
1.5 Consideraciones metodológicas generales.....	29
1.5.1 El caso de estudio de comunidades rurales altoandinas en la región Cajamarca, Perú	29
1.5.2 Paradigma de investigación mixto: metodologías cuantitativas y cualitativas.....	35
1.6 Guía de lectura de los artículos incluidos	37
1.6.1 A community electrification project: Combination of microgrids and household systems fed by wind, PV or micro-hydro energies according to micro-scale resource evaluation and social constraints	38
1.6.2 Evaluación Alto Perú.....	38
1.6.3 Gender, Energy and Inequalities: a Capability Approach Analysis of Renewable Electrification Projects in Cajamarca, Peru.....	39
1.6.4 Assessing management models for off-grid renewable energy electrification projects using the Human Development approach: case study in Peru.....	39
1.6.5 A new integral management model and evaluation method to enhance sustainability of renewable energy projects for energy and sanitation services	40
1.7 References	40
2. Publicaciones	47
2.1 A community electrification project: Combination of microgrids and household systems fed by wind, PV or micro-hydro energies according to micro-scale resource evaluation and social constraints	47
2.1.1 Introduction	47
2.1.2 The community of Alto Peru.....	49

2.1.3 Resource evaluation	52
2.1.4 Technical assessment	53
2.1.5 Project design.....	55
2.1.6 Evaluation and results	63
2.1.7 Conclusions	65
2.2 Evaluación Alto Perú.....	70
2.2.1 Enfoque de capacidades, evaluación en términos de bienestar y agencia	70
2.2.2 Metodología.....	72
2.2.3 Resultados.....	75
2.2.4 Lecciones aprendidas.....	78
2.2.5 Bibliografía.....	78
2.3 Gender, Energy and Inequalities: a Capability Approach Analysis of Renewable Electrification Projects in Cajamarca, Peru	81
2.3.2 Introduction	81
2.3.3 The Capabilities Approach as a Framework to Analyse Gender Inequalities	82
2.3.4 Methodology for Electrification Projects Analysis Using the Capabilities Approach..	84
2.3.2 Results: Gender Inequalities in Electrification Projects.....	85
2.3.6 Contributions of the Capabilities Approach to Practical Action Project Planning.....	87
2.3.7 Conclusions	89
2.3.8 References	89
2.4 Assessing management models for off-grid renewable energy electrification projects using the Human Development approach: case study in Peru.....	92
2.4.1 Keywords	92
2.4.2 Introduction	92
2.4.3 Management models of isolated rural electrification projects.....	93
2.4.4 Methodology.....	96
2.4.5 Results.....	101
2.4.6 Discussion and recommendations.....	105
2.4.7 Conclusions	110
2.4.8 References	112
2.5 A new integral management model and evaluation method to enhance sustainability of renewable energy projects for energy and sanitation services	117
2.5.2 Keywords	117
2.5.3 Introduction	117
2.5.4 Description of the case study.....	118

2.5.5 Management model.....	122
2.5.6 Assessment of the sustainability of the project.....	128
2.5.7 Results.....	131
2.5.8 Discussion.....	133
2.5.9 Conclusions	138
2.5.10 Acknowledgments.....	138
2.5.11 References.....	138
3. Discusión general de los resultados.....	147
3.1 Objetivo 1. Analizar los aportes del enfoque de Desarrollo Humano Sostenible al análisis de proyectos de Energías Renovables en zonas rurales aisladas de países en vías de desarrollo.	147
3.1.1 ¿La información de tipo técnico es suficiente para diseñar los sistemas en este tipo de proyectos?.....	147
3.1.2 En cuanto a los impactos del acceso a la electricidad sobre la vida de las personas, ¿qué aspectos novedosos de este tipo de proyectos se identifican gracias a este enfoque?.....	149
3.1.3 En términos de equidad de género, ¿es capaz el enfoque de DHS de caracterizar el impacto de proyectos de acceso a la energía en zonas rurales en este sentido?.....	151
3.1.4 En cuanto a la relevancia del proceso de implementación del modelo de gestión en el potencial transformador de este tipo de proyectos, ¿qué aspectos novedosos se identifican gracias a este enfoque?.....	152
3.1.5 ¿Qué nivel de sostenibilidad puede tener un modelo de gestión comunitario integral diseñado con criterios de DHS? ¿Este nivel de sostenibilidad varía en función de la tecnología?	155
3.2 Objetivo 2. Entender cómo se deben desarrollar proyectos de energías renovables para el acceso a la energía en zonas rurales empobrecidas de acuerdo con el paradigma de DHS.....	157
3.2.1 ¿Qué aspectos clave deben ser tenidos en cuenta durante el proceso de diseño de los proyectos con EERR en zonas rurales empobrecidas, de acuerdo con el enfoque de DHS?.....	158
3.2.2 ¿Qué aspectos deben tomarse en consideración en el proceso de implementación de este tipo de proyectos para promover el DHS?.....	159
3.2.3 ¿Qué características debe tener un modelo de gestión comunitario sostenible que permita la integración de cualquier tipo de tecnología energética, tanto para servicios energéticos como de saneamiento?.....	161
4. Conclusiones	165

Abreviaturas

AC: Alternating Current

ACS: Agua Caliente Sanitaria

APAFA: Asociación de Padres de Familia

CA: Capabilities Approach

CEDECAP: Centro de Demostración y Capacitación en Energías Renovables (Demonstration and Training Centre in Appropriate Technologies)

CU: Control Unit

DC: Direct Current

DHS: Desarrollo Humano Sostenible

EC: Enfoque de Capacidades

EERR: Energías renovables

ESF: Engineering Without Borders

ESMAP: Energy Sector Management Programme

GE: Green Empowerment

GRECDH-UPC: Research Group on Cooperation and Human Development of the Universitat Politècnica de Catalunya

GRUFIDES: Grupo de Formación e Intervención para el Desarrollo Sostenible

HD: Human Development

IDH: Índice de Desarrollo Humano

IEA: International Energy Agency

INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática (Perú)

MBSS: Management Board for Sanitation Services

MCH: Microcentrales Hidroeléctricas

MDG: Millenium Development Goals

NGO: Non-governmental organization

NS: Nuevos Soles

O&M: Operación y Mantenimiento (Operation and Maintenance)

ONGD: Organización No Gubernamental para el Desarrollo

PA: Practical Action

PNUD: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo

PSH: Peak Solar Hours

PV: Photovoltaic Systems

RE: Renewable Energies

RESU: Rural Electricity Service Unit

SER: Servicios Educativos Rurales

SFV: Sistemas Solares Fotovoltaicos

T4F: Technologies For Freedom

TA: Tecnologías Apropriadas

TpDH: Tecnologías para el Desarrollo Humano

UNDP: United Nations Development Programme

WT: Wind Turbines

Resumen

La energía es crucial para erradicar la pobreza, mejorar el bienestar y aumentar los estándares de vida de las personas. En este sentido, para lograr procesos de desarrollo es esencial dotar a la población de modernos servicios básicos energéticos, adecuados y fiables, utilizando tecnologías seguras y ecológicamente racionales, de conformidad con las necesidades socioeconómicas y los valores culturales. Para ello, los sistemas autónomos basados en el uso de las energías renovables (EERR) han demostrado ser adecuados para proporcionar servicios de energía y saneamiento en comunidades rurales aisladas.

Tomando esto en consideración, los objetivos de esta tesis son investigar los aportes del enfoque de Desarrollo Humano Sostenible (DHS) al análisis de proyectos de EERR en zonas rurales aisladas de países en vías de desarrollo y entender cómo se deben desarrollar proyectos de EERR para el acceso a la energía en zonas rurales empobrecidas de acuerdo con el paradigma de DHS.

En relación al primer objetivo, cabe considerar que, generalmente, este tipo de proyectos tecnológicos se han diseñado, implementado y evaluado siguiendo estrategias acordes con enfoques de cariz utilitarista, centrados en la generación de nuevos recursos. En cambio, para analizar el impacto de este tipo de proyectos en la vida de la personas, en esta tesis se promueve el uso de un enfoque que nos permita ampliar el análisis sobre varias dimensiones clave del desarrollo que deben ser consideradas en el proceso de estos proyectos. En particular, se ha utilizado el enfoque de DHS, según el cual los proyectos tecnológicos en las zonas rurales no sólo deben estar dirigidos a aumentar los niveles de acceso a una energía asequible, fiable, segura y de alta calidad, y a mejorar la calidad del medio ambiente, incluido el entorno inmediato en los hogares, sino también a fortalecer la autonomía y el empoderamiento de las personas, ampliando sus oportunidades y libertades.

Este enfoque ha sido empleado en seis estudios de proyectos de acceso a la energía en comunidades rurales andinas del Perú, llevados a cabo por la ONG Practical Action, los cuales cuentan íntegramente con EERR y modelos de gestión comunitarios. Para realizar el análisis de estos proyectos en base a los preceptos del DHS se ha diseñado una metodología *ad hoc*, incorporando herramientas para obtener datos relativos al contexto y a los factores de conversión individual que afectan a las capacidades de las personas, haciendo especial hincapié a la componente de género.

En relación al segundo objetivo, en base a los resultados de los análisis realizados, se han presentado una serie de recomendaciones con las que se pueden superar las barreras y dificultades identificadas para que este tipo de proyectos sean verdaderamente catalizadores del DHS. Además, se ha diseñado un modelo de gestión capaz de gestionar cualquier número de tecnologías distintas, considerando los aprendizajes adquiridos en las investigaciones anteriores, el cual ha sido puesto en práctica en un proyecto que incorpora 6 tipos de tecnologías simultáneamente, y cuya sostenibilidad ha demostrado ser satisfactoria.

Abstract

Energy services are crucial for eradicating poverty, improving human welfare and raising living standards. Thus, providing appropriate and reliable modern energy and sanitation services using secure and environmentally sound technologies, in conformity with socioeconomic needs and cultural values, is essential in the race for sustainable development. Autonomous systems based on the use of renewable energies (RE) have proven suitable for providing affordable, reliable, safe, and high-quality energy and sanitation services to isolated communities.

Taking this into consideration, the objectives of this thesis are to investigate the contributions of the Human and Sustainable Development (HSD) approach to the analysis of RE projects in isolated rural areas in developing countries and understand how these projects to provide access to energy in impoverished rural areas should be developed according to the paradigm of HSD.

Regarding the first objective, it is considered that, generally, these types of technology projects are designed, implemented and evaluated following strategies consistent with utilitarian approaches, focused on the generation of new resources. However, to analyze the impact of these projects on the lives of the people, in this thesis we use an approach that allows us to extend the analysis on several key dimensions of development that should be considered in the process of these projects. In particular, we have used the HSD approach, which considers that technological projects in rural areas should not only be aimed at increasing levels of access to affordable, reliable, secure and high quality energy, as well as improving the quality of the environment, including the immediate environment in homes, but also at strengthening the autonomy and empowerment of people, expanding their opportunities and freedoms.

This approach has been used in six projects to provide access to energy in Andean communities in Peru, carried out by the NGO Practical Action, which consider only RE and community management models. To analyse these projects against the precepts of HSD approach, a special methodology has been designed, incorporating tools to collect data related to the context and individual conversion factors affecting people's capabilities, with particular emphasis on the gender component.

Regarding the second objective, based on the results of the analyses, recommendations have been made to overcome barriers and difficulties identified for such projects to truly be catalysts of HSD. Additionally, a management model has been designed to handle any number of different technologies, considering the lessons learned from this research, which has been implemented in a project that includes 6 types of technologies simultaneously, and whose sustainability has proven satisfactory.

Resum

L'energia és crucial per a eradicar la pobresa, millorar el benestar i augmentar els estàndards de vida de les persones. En aquest sentit, dotar la població de moderns serveis bàsics energètics, adequats i fiables, utilitzant tecnologies segures i ecològicament racionals, de conformitat amb les necessitats socioeconòmiques i els valors culturals, és essencial per aconseguir processos de desenvolupament. Per a això, els sistemes autònoms basats en l'ús de les energies renovables (EERR) han demostrat ser adequats per proporcionar serveis d'energia i sanejament en comunitats rurals aïllades.

Prenent això en consideració, els objectius d'aquesta tesi són investigar les aportacions de l'enfocament de Desenvolupament Humà Sostenible (DHS) a l'anàlisi de projectes d'EERR en zones rurals aïllades de països en vies de desenvolupament i entendre com s'han de desenvolupar projectes d'EERR per a l'accés a l'energia en zones rurals empobrides d'acord amb el paradigma de DHS.

En relació al primer objectiu, cal considerar que, generalment, aquest tipus de projectes tecnològics s'han dissenyat, implementat i avaluat seguint estratègies acords amb enfocaments de caire utilitarista, centrats en la generació de nous recursos. En canvi, per analitzar l'impacte d'aquest tipus de projectes en la vida de les persones, en aquesta tesi es promou l'ús d'un enfocament que ens permeti ampliar l'anàlisi sobre diverses dimensions clau del desenvolupament que han de ser considerades en el procés d'aquests projectes. En particular, s'ha utilitzat l'enfocament de DHS, segons el qual els projectes tecnològics a les zones rurals no només han d'estar dirigits a augmentar els nivells d'accés a una energia assequible, fiable, segura i d'alta qualitat, i a millorar la qualitat del medi ambient, inclòs l'entorn immediat a les llars, sinó també a enfortir l'autonomia i l'empoderament de les persones, ampliant les seves oportunitats i llibertats.

Aquest enfocament ha estat emprat en sis estudis de projectes d'accés a l'energia en comunitats rurals andines del Perú, portats a terme per l'ONG Practical Action, els quals compten íntegrament amb EERR i models de gestió comunitaris. Per realitzar l'anàlisi d'aquests projectes en base als preceptes del DHS s'ha dissenyat una metodologia ad hoc, incorporant eines per obtenir dades relatives al context i als factors de conversió individual que afecten les capacitats de les persones, fent especial èmfasi a la component de gènere.

En relació al segon objectiu, en base als resultats de les anàlisis realitzades, s'han presentat un seguit de recomanacions amb les que es poden superar les barreres i dificultats identificades perquè aquest tipus de projectes siguin veritablement catalitzadors del DHS. A més, s'ha dissenyat un model de gestió capaç de gestionar qualsevol nombre de tecnologies diferents, considerant els aprenentatges adquirits en les investigacions anteriors, el qual ha estat posat en pràctica en un projecte que incorpora 6 tipus de tecnologies simultàniament, i la sostenibilitat del qual ha demostrat ser satisfactòria.

Agradecimientos

Esta tesis es el producto de un esfuerzo llevado a cabo durante varios años, debiendo compaginando la vida profesional con la académica. Esto se traduce en largas noches de trabajo, innumerables fines de semana íntegros dedicados a la investigación y, por qué no reconocerlo, en algunos de periodos de frustración y decaimiento. Por eso, todo el apoyo que he recibido ha resultado especialmente fundamental en este proceso, sin el cual habría resultado imposible alcanzar esta meta, de la cual me siento plenamente orgulloso.

En primer lugar, quiero agradecer a mis directoras Alejandra Boni y Laia Ferrer-Martí el trabajo continuo incluso en horas intempestivas, la paciencia, la comprensión en momentos difíciles, la capacidad de motivarme continuamente y el enriquecimiento del trabajo gracias su enorme conocimiento y las largas discusiones que han hecho evolucionar la investigación y dar un salto de calidad a sus resultados.

En segundo lugar, pero por supuesto no menos importante, quiero agradecer a mi familia su apoyo incondicional, no solo a lo largo de esta tesis, si no a lo largo de toda mi vida. A mi madre, que siempre ha sido mi inspiración. A mi padre, motivador incansable. A mi Kathy, que da sentido a mi vida.

También quiero celebrar junto a todos los coautores de las publicaciones que forman parte de esta tesis, Laia Ferrer-Martí, Alejandra Boni, Álvaro Fernández-Baldor, José Javier Sastre, Bruno Domenech, Rafael Pastor, José Chiroque y Benito Ramírez, el gran equipo que hemos formado.

Quiero dar las gracias a mis compañeros y compañeras de Practical Action y Ingeniería Sense Fronteres. Ha sido un largo tiempo de convivencia en mi querida Cajamarca, trabajando codo con codo en las comunidades rurales intentando construir juntos un futuro mejor. Una larga lista con tantísimas personas con quien he compartido experiencias inolvidables no sería más que una superficialidad por mi parte para expresar lo que significan para mí. Por eso, a todos y todas, que sabéis quiénes sois, ¡os mando un abrazo gigantesco!

Para terminar, y como mayor agradecimiento, quisiera expresar mi más sentido afecto por las familias cajamarquinas con las que he vivido innumerables momentos inolvidables. A lo largo de varios años han transformado mi vida gracias a su cariño y confianza, sus lecciones de vida con incalculable valor y, sobretodo, su afán por crear un mundo mejor, para las generaciones presentes y futuras. Gracias a ellas, parte de mi identidad es ahora indudablemente cajamarquina.

1. Introducción

1.1 Presentación y justificación

La energía es crucial para erradicar la pobreza, mejorar el bienestar y aumentar los estándares de vida de las personas (Vera, 2007). Sin embargo, una de cada cuatro personas en el planeta carece de servicios básicos energéticos, lo cual supone una enorme barrera para mejorar las condiciones de vida y un serio obstáculo al desarrollo económico y social (IEA, 2013). En este sentido, para lograr procesos desarrollo es esencial dotar a la población de modernos servicios básicos energéticos adecuados y fiables, utilizando tecnologías seguras y ecológicamente racionales, de conformidad con las necesidades socioeconómicas y los valores culturales. Sin embargo, esto sigue siendo un gran desafío (Bhattacharyya, 2012a; Mainali and Silveira, 2013; Mainali et al., 2014; Spalding-Fecher et al., 2005) ya que una amplia mayoría de la población mundial, especialmente en zonas rurales, todavía carece de servicios energéticos modernos (Iliskog, 2008).

La electricidad es uno de los principales servicios energéticos del que existe una carencia significativa en el ámbito rural de los países en vías de desarrollo. En general, la estrategia actual de los gobiernos para conseguir el incremento necesario en la tasa de electrificación rural está orientada básicamente a la expansión de la red eléctrica. No obstante, la inversión que se requiere para extender las redes hasta los poblados rurales más alejados y dispersos suele exceder lo previsto en cualquier programa estatal. El resultado de esta política de extensión de redes es que, mientras la cobertura del servicio de electricidad a nivel general puede ser alta, en las zonas rurales ésta puede ser muy limitada. Para superar estas deficiencias y superar las muchas barreras para lograr un pleno acceso a la energía los sistemas autónomos basados en el uso de las energías renovables (EERR) han demostrado ser adecuados para proporcionar servicios de energía y saneamiento de alta calidad, asequibles, fiables y seguros, en comunidades rurales aisladas (Benecke, 2008; Breyer et al., 2009; Chaurey et al., 2004; Lhendup, 2008; Nguyen, 2007). Existe un gran número de tecnologías basadas en EERR a pequeña escala que han sido implementadas en proyectos de electrificación rural aislada, entre las cuales destacan las Microcentrales Hidroeléctricas (MCH), los sistemas Solares Fotovoltaicos (SFV) y los sistemas eólicos, también llamados aerogeneradores. Este tipo de sistemas pueden ser utilizados tanto en esquemas individuales unifamiliares como en esquemas en microrred, dando servicio a diversos puntos de consumo simultáneamente.

De entre el resto de servicios energéticos que deben proporcionarse en las comunidades rurales, los más relevantes son la calefacción, en zonas frías, la cocina y el agua caliente. No obstante, las viviendas rurales en zonas frías de países en vías de desarrollo pueden tener unas características poco adecuadas para mantener una temperatura de confort, y la carencia de sistemas tecnológicos eficientes se traduce en un uso elevado de combustible para calefacción, generalmente leña. En cuanto a la cocina, un gran número de familias sigue empleando un método tradicional de quema de leña, empleando sistemas que pueden resultar muy ineficientes y, además, generar grandes cantidades de humo en el interior de la vivienda, lo cual afecta muy negativamente a la salud de la familia, especialmente a las mujeres, que pasan una gran parte de su tiempo en esa estancia. Finalmente, para disponer de agua caliente se suele hacer uso de la cocina tradicional, cuyas desventajas se acaban de mencionar. En todos estos casos, la implementación proyectos con tecnologías basadas en EERR supone una alternativa muy apropiada para mejorar el bienestar de

las personas (Benecke, 2008; Breyer et al., 2009; Chaurey et al., 2004; Lhendup, 2008; Nguyen, 2007).

Habitualmente, este tipo de proyectos tecnológicos se han diseñado, implementado y evaluado siguiendo estrategias acordes con enfoques de cariz utilitarista, centrados en la generación de nuevos recursos. Sin embargo, este tipo de enfoques solo alcanzan la superficie de los procesos que se llevan a cabo en proyectos de desarrollo. De hecho, puede haber numerosas limitaciones y barreras de este tipo de proyectos para promover el desarrollo que han escapado a la atención de otros autores en estudios previos debido a la utilización de un enfoque excesivamente centrado en los aspectos técnicos y económicos, sin abordar en profundidad el impacto que estos proyectos tienen en la vida de las personas más allá de la provisión de utilidades (Ferrer-Martí et al. 2012; Sanchez et al., 2006; Yadoo and Cruickshank, 2012). Por ejemplo, una de las limitaciones es la imposibilidad de considerar las desigualdades dentro del hogar causados por el bien o servicio tecnológico. Esto es particularmente relevante en relación con las desigualdades de género dentro de las familias. Por esta razón, en esta tesis se promueve el uso de un enfoque diferente, que nos permita ampliar el análisis sobre varias dimensiones clave del desarrollo que deben ser consideradas en el proceso de estos proyectos.

De entre los distintos enfoques que históricamente se han venido utilizando en proyectos tecnológicos (ver Sección 1.3), en esta tesis se ha utilizado el enfoque de Desarrollo Humano Sostenible (DHS). Gracias a este enfoque se amplía la base de información (Sen, 1999) para analizar el poder transformador de este tipo de proyectos, lo cual permite ahondar en el los procesos de cambio derivados de estas intervenciones y definir nuevas estrategias de planificación e implementación de proyectos, maximizando la probabilidad de éxito de los mismos. Según este enfoque, los proyectos tecnológicos en las zonas rurales no sólo deben estar dirigidos a aumentar los niveles de acceso a una energía asequible, fiable, segura y de alta calidad, y a mejorar la calidad del medio ambiente, incluido el entorno inmediato en los hogares (Johansson et al., 2002), sino también a fortalecer la autonomía y el empoderamiento de las personas, ampliando sus oportunidades y libertades.

Si bien es cierto que en comunidades rurales empobrecidas se han llevado a cabo proyectos tecnológicos de desarrollo basados en EERR, tanto por iniciativas públicas como privadas (Midilli et al., 2006), la mayoría de estos proyectos han fracasado debido a una deficiente capacidad de gestión (ESMAP, 2010), la cual tiene una influencia central en la sostenibilidad de los sistemas (Gomez and Silveira, 2012; Palit, 2013; Shyu, 2013; Yadoo and Cruickshank, 2010; Zhang and Kumar, 2011) y en el potencial transformador de los proyectos. Por esta razón, el establecimiento de un modelo de gestión adecuado es un proceso clave en la aplicación de cualquier tipo de proyecto tecnológico en las zonas rurales. En particular, ESMAP (2001) señala que *"si bien es cierto que todos los aspectos (marco legal, finanzas, tecnología, etc.) son importantes para mejorar el acceso de la población rural a la electricidad, la continuidad del servicio sólo puede garantizarse si sus modelos de gestión son funcionales y eficientes"*. Adicionalmente, como se verá en esta tesis, la definición de un modelo de gestión adecuado puede promover la adopción de tecnología, la reducción de las desigualdades sociales, el aumento de la productividad, la redefinición de las estructuras de poder y el fortalecimiento del empoderamiento individual y colectivo.

De entre los numerosos modelos de gestión existentes, los más comunes son los privados, cooperativos, municipales, gubernamentales o comunitarios. Estos modelos tienen diferentes

características en cuanto a la propiedad de los sistemas, el nivel de participación de los usuarios, la responsabilidad de la operación y mantenimiento (O&M) de los sistemas, la participación de los usuarios en la construcción de infraestructuras e instalación de equipos, gestión de pagos de tarifas, etc. (ESMAP, 2001). Un modelo de gestión muy reconocido es el modelo comunitario microempresarial para servicios energéticos con tecnologías basadas en EERR, diseñado por la ONGD Practical Action (PA) para promover el desarrollo en comunidades rurales empobrecidas, aprovechando que las tecnologías basadas en EERR pueden ser gestionadas a nivel local, lo que permite la generación de puestos de trabajo locales y la participación de la población en la toma de decisiones (Sánchez, 2006). Este modelo de gestión ha sido evaluado de forma positiva en diversas investigaciones previas (Ferrer-Martí et al., 2012; Sánchez et al., 2006; Yadoo and Cruickshank; 2012).

Con todo, se ha realizado esta tesis con el objetivo de contribuir al fortalecimiento y la promoción de proyectos tecnológicos con EERR como catalizadores del desarrollo en comunidades rurales empobrecidas. Para ello, se ha centrado la investigación en proyectos de acceso a servicios energéticos con tecnologías basadas en EERR implementados por PA en la región de Cajamarca, en la zona altoandina norte de Perú.

El resto del documento se estructura como sigue: en las secciones restantes del Capítulo 1 se presentan los Objetivos y Preguntas de Investigación, se describe el Marco Teórico, se describen brevemente las tecnologías que los proyectos analizados incorporan, y se presentan las consideraciones metodológicas principales y casos de estudio, así como una guía de lectura de los artículos incluidos en esta tesis; en el Capítulo 2 se exponen los 5 artículos publicados en revistas académicas y libros especializados, los cuales contienen la información principal de la investigación; en el Capítulo 3 se realiza la discusión general, dando respuesta a las preguntas de investigación a partir de los resultados de los análisis de los casos de estudio; y finalmente en el Capítulo 4 se presentan las Conclusiones principales de la investigación.

1.2 Objetivos y Preguntas de investigación

Lo expuesto nos lleva a los siguientes objetivos y preguntas generales de la tesis, las cuales resultan cruciales para estructurar la investigación y asegurar que se obtiene información suficiente para alcanzar los objetivos propuestos.

OBJETIVOS Y PREGUNTAS	Capítulos en los que se aborda
Objetivo 1. Analizar los aportes del enfoque de Desarrollo Humano Sostenible al análisis de proyectos de Energías Renovables en zonas rurales aisladas de países en vías de desarrollo.	
- <i>Pregunta 1.1. ¿La información de tipo técnico es suficiente para diseñar los sistemas en este tipo de proyectos?</i>	Cap. 2.1 Cap. 2.4
- <i>Pregunta 1.2. En cuanto a los impactos del acceso a la electricidad sobre la vida de las personas, ¿qué aspectos novedosos de este tipo de proyectos se identifican gracias a este enfoque?</i>	Cap. 2.2 Cap. 2.3

- <i>Pregunta 1.3. En términos de equidad de género, ¿es capaz el enfoque de DHS de caracterizar el impacto de proyectos de acceso a la energía en zonas rurales en este sentido?</i>	Cap. 2.2 Cap. 2.3
- <i>Pregunta 1.4. En cuanto a la relevancia del proceso de diseño e implementación del modelo de gestión en el potencial transformador de este tipo de proyectos, ¿qué aspectos novedosos se identifican gracias a este enfoque?</i>	Cap. 2.4 Cap. 2.5
- <i>Pregunta 1.5. ¿Qué nivel de sostenibilidad puede tener un modelo de gestión comunitario integral diseñado con criterios de DHS? ¿Este nivel de sostenibilidad varía en función de la tecnología?</i>	Cap. 2.5
Objetivo 2. Entender cómo se deben desarrollar proyectos de energías renovables para el acceso a la energía en zonas rurales empobrecidas de acuerdo con el paradigma de DHS	
- <i>Pregunta 2.1. ¿Qué aspectos clave deben ser tenidos en cuenta durante el proceso de diseño de los proyectos con EERR en zonas rurales empobrecidas, de acuerdo con el enfoque de DHS?</i>	Cap. 2.1 Cap. 2.2 Cap. 2.3 Cap. 2.4 Cap. 2.5
- <i>Pregunta 2.2. ¿Qué aspectos deben tomarse en consideración en el proceso de implementación de este tipo de proyectos para promover el DHS?</i>	Cap. 2.1 Cap. 2.2 Cap. 2.3 Cap. 2.4 Cap. 2.5
- <i>Pregunta 2.3. ¿Qué características debe tener un modelo de gestión comunitario sostenible que permita la integración de cualquier tipo de tecnología energética, tanto para servicios energéticos como de saneamiento?</i>	Cap. 2.1 Cap. 2.2 Cap. 2.3 Cap. 2.4 Cap. 2.5

Cabe mencionar que los objetivos de la tesis son exploratorios, no pretendiendo dar una respuesta rotunda y generalista a las preguntas de investigación, cuya validez pueda ser extrapolada a cualquier tipo de proyecto tecnológico en cualquier contexto socioeconómico. En este sentido, las preguntas se abordan proponiendo conceptos e hipótesis, así como identificando dimensiones de los conceptos y procesos estudiados y posibles conexiones, generando un proceso de razonamiento inductivo.

1.3 Marco teórico de la investigación

En esta sección se presenta el enfoque de DHS y su aplicación en proyectos tecnológicos. Si bien este enfoque se describe en la Sección 2.2.1, se ha considerado relevante incluirlo nuevamente como parte de la Introducción para fortalecer la descripción del marco teórico. Además, se exponen los enfoques teóricos que históricamente se han venido empleando en proyectos tecnológicos, incluyendo el modelo Technologies for Freedom, basado en el DHS. Este modelo se considera como marco de referencia en esta tesis, tanto en los análisis realizados como en las propuestas y recomendaciones fruto de la investigación.

1.3.1 Enfoque de Desarrollo Humano Sostenible

El DHS un enfoque alternativo a las metodologías de evaluación más clásicas, el cual está basado en el Enfoque de Capacidades (EC), centrado en los conceptos de bienestar y agencia.

Según el EC y, por tanto, también el DHS, el desarrollo es entendido como la ampliación de las oportunidades de las personas para llevar a cabo la vida que tienen razones para valorar (Sen, 1999). Se trata de un marco normativo para evaluar el bienestar individual de las personas y su entorno institucional, el diseño de políticas o propuestas de cambio social. No se trata de una teoría que explique fenómenos como la pobreza o las desigualdades, sino que aporta un marco para conceptualizar, entender y evaluar estos fenómenos (Robeyns, 2005).

Según este enfoque, la base de información para medir el desarrollo se identifica con las capacidades básicas de los seres humanos para llevar a cabo la vida que tienen razones para valorar (Sen, 1985; 1999). Una capacidad refleja lo que una persona puede hacer o ser, independientemente de que decida realizarlo (oportunidad). Las **capacidades** se caracterizan, por tanto, como el conjunto de libertades que gozan los individuos para llevar un tipo de vida u otro (Sen, 1999). Los **funcionamientos** son los diferentes estados o actividades que una persona puede valorar ser o hacer. La diferencia fundamental entre capacidades y funcionamientos es que las capacidades constituyen las opciones de que una persona dispone, y los funcionamientos las elecciones que efectivamente realiza. En otras palabras, una persona puede tener ciertas capacidades (disfrutar de diferentes libertades) pero elegir utilizarlas o no. Estas opciones dependen del contexto, la personalidad, la historia de vida del individuo y otros factores (Robeyns, 2005).

En este sentido, lo que propone este enfoque es que la pobreza es, ante todo, falta de libertad para llevar adelante planes de vida que una persona tiene razones para valorar. Y es precisamente lo más interesante de este enfoque: considerar que los bienes y servicios por sí solos no suponen **bienestar**. Según Sen (1999) “El desarrollo (*bienestar*) de una persona consiste en expandir el conjunto de capacidades a partir del cual cada persona toma sus decisiones vitales y profesionales liberado de las ataduras (*unfreedom*s) que dejan a las personas con poca capacidad de elección y pocas oportunidades para ejercitar su agencia”.

Otro concepto clave del enfoque de capacidades es la **agencia**. Sen (1985) la define como la “habilidad que tiene una persona para conseguir las metas o valores que considera importantes”. Agente sería “la persona que actúa buscando un cambio” (Sen, 1999). Puesto que bajo el enfoque de capacidades el desarrollo es visto como el *proceso* de expansión de las libertades reales que disfrutan las personas, la agencia cobra especial relevancia. Mayor agencia potencia la habilidad de las personas para ayudarse a sí mismas, pero también para influir en el mundo, siendo estos temas claves para los procesos de desarrollo.

En cuanto al uso de este enfoque para tratar y promover la equidad de género, Robeyns (2003; 2008) expone sus principales fortalezas. La primera ventaja es el foco en las personas: capacidades y funcionamientos son propiedad de las personas, por lo que las unidades de juicio normativo son individuos, no los hogares o las comunidades como conjunto. Este punto es importante para el análisis de las desigualdades de género ya que el bienestar de las mujeres no puede subsumirse en entidades más amplias. La segunda ventaja es la inclusión de dimensiones del bienestar no relacionadas con el mercado, como las labores de cuidado o el trabajo doméstico. Las mujeres

invierten mucho más tiempo fuera de la economía de mercado que los hombres, por lo que la inclusión de estos aspectos en el análisis normativo revelará complejidades en la distribución del bienestar que un análisis de los ingresos por sí solo no puede capturar. La tercera ventaja es que el enfoque reconoce la diversidad humana: la conversión de recursos en funcionamientos puede variar entre las personas. Así, mediante la conceptualización de la desigualdad de género en el espacio de los funcionamientos y capacidades, hay más amplitud para dar cuenta de la diversidad humana, incluida la de género.

El enfoque de DHS es un marco muy apropiado para conceptualizar las intervenciones tecnológicas, ya que proporciona una visión más amplia y completa de los procesos de desarrollo (Fernández-Baldor et al., 2012). El enfoque de DHS se basa en cuatro pilares fundamentales que cualquier acción de desarrollo estratégico debe promover para lograr lo que entendemos por éxito: expandir las oportunidades de las personas y transformarlas en agentes de su propio desarrollo (ul Haq, 1995). Estos cuatro principios son los siguientes:

- **Equidad y diversidad:** Las personas deben gozar de igualdad de acceso a las oportunidades, y su diversidad debe ser reconocida. El desarrollo de la desigualdad significa restringir las opciones de los individuos en una sociedad. Según ul Haq (1995), en muchos casos, el acceso equitativo a las oportunidades requiere una reestructuración fundamental del *establishment*.
- **Sostenibilidad:** Según el DHS, la sostenibilidad no debe ser entendida como la preservación indefinida de recursos, sino más bien como la preservación del mismo nivel de bienestar para las generaciones futuras. Esta comprensión de la sostenibilidad no sólo se refiere a la sostenibilidad del medio ambiente, sino también a algo más amplio, a saber, la sostenibilidad de los recursos humanos, físicos y el capital financiero.
- **Empoderamiento:** Las personas no se entienden como objetos sino como sujetos de desarrollo y deben ser capaces de tomar libremente las decisiones que afectan sus vidas, lo que implica liberalización económica, evitando excesivos controles y regulaciones económicas; descentralización del poder para que la gobernabilidad corresponda a cada persona; y la plena participación de la población en la elaboración y aplicación de decisiones.
- **Productividad:** El crecimiento económico también es fundamental para DHS, por lo que es necesario generar un entorno donde las personas puedan ser productivas a través de la creación de medios de vida sostenibles. Sin embargo, hay que recordar que las personas no son sólo los medios, sino también a los fines del desarrollo, por lo que la productividad debe ser tratada sólo como un aspecto del DHS, con el mismo nivel de importancia que los otros tres.

En cuanto al análisis de la sostenibilidad, el cual se lleva a cabo en uno de los artículos respecto a un modelo de gestión innovador desarrollado durante la investigación, se consideran cinco dimensiones:

- La dimensión técnica se centra en garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas durante su vida útil. Esta dimensión se refiere a la satisfacción de las necesidades locales, la fiabilidad de los sistemas, las tareas de operación y mantenimiento, y la disponibilidad de asistencia técnica.

- La dimensión económica se refiere a la capacidad del proyecto para promover aumentos en los ingresos familiares, la capacidad de pago de las tarifas, la tasa de morosidad y la adecuación de las tarifas para cubrir los costos de operación y mantenimiento, evitando así interrupciones importantes y colapsos (Villavicencio, 2002).
- La dimensión social/ética incluye aspectos como salud y educación, igualdad de oportunidades de acceso a los servicios, etc.
- La dimensión ambiental se centra en la forma en que el proyecto afecta el medio ambiente en términos de uso de recursos naturales, emisiones y residuos.
- La dimensión organizacional/institucional se centra en cómo se refuerzan las capacidades de organización dentro de la comunidad, sobre cómo se fortalecen las capacidades humanas, el nivel de *accountability* y la participación de los usuarios en los procesos de toma de decisiones.

Es importante remarcar que para desarrollar un proceso exitoso en términos de DHS, es imprescindible disponer de una metodología de intervención que incluya la participación activa y de calidad de la población en todas las fases del proyecto (Geilfus, 2002). Más que una política, la participación es un enfoque filosófico del crecimiento humano y del cambio social: basándose en el conocimiento propio, las personas pueden identificar contradicciones y concebir acciones que contrarresten la alienación (Deneulin, 2004). Por tanto, las acciones participativas pueden ser descritas como el proceso que facilita la habilidad permanente de identificar y analizar problemas, formular y planificar soluciones, movilizar recursos e implementarlos en todas las áreas de las necesidades de desarrollo de las personas, buscando el pleno control sobre los procesos que afectan sus vidas (Leal & Opp, 1998). Los procesos participativos, reconociendo la diversidad, propician la expresión de distintos puntos de vista en un diálogo que lleve a la negociación y al consenso. El supuesto detrás del vínculo positivo entre los mecanismos participativos y la pobreza es que, si las personas afectadas por una decisión participan en ella, serán más propensas a tomar decisiones que serán lo más efectivas o eficaces para sí mismos. Aún más, si las personas que participan en la toma de decisiones son pobres, se presupone que ellos toman decisiones que reflejan de mejor manera, y por tanto afectan positivamente, sus prioridades y valores (Taori, 1998). Las instituciones de desarrollo que buscan “crecimiento” y “progreso” tienden a convertir enfoques diseñados para la transformación social en instrumentos de gestión técnica. Esto *decapita* la participación, convirtiéndola en un mero soporte del ciclo de proyecto ortodoxo, inhibiéndola de sus capacidades transformadoras (Fernández-Baldor et al., 2012b). Cuando la participación es un mero medio para responder a las demandas de las agencias donantes, para responsabilizar a los participantes de los resultados de un programa o para realizar una simple consulta, el DHS no se logrará.

1.3.2 Evolución histórica de los enfoques tecnológicos en proyectos de desarrollo

A lo largo de la historia la tecnología ha sido utilizada para intentar erradicar la pobreza o, al menos, disminuir las desigualdades. La tecnología desempeña un rol clave en el bienestar: desde las tecnologías de las comunicaciones que nos permiten estar más cerca de las personas; hasta los sistemas de potabilización que nos proporcionan agua segura para el consumo humano. Sin embargo, trasladar los beneficios de la tecnología a la sociedad no es tarea sencilla. Tampoco la aplicación de la tecnología a la cooperación al desarrollo ha sido siempre exitosa ni la visión que se ha tenido sobre la misma ha sido siempre igual, sino que ha ido evolucionando en el tiempo, normalmente ligada a una visión concreta del desarrollo y el cambio social. En las siguientes

secciones se analiza la evolución de la tecnología y sus vínculos con la visión del desarrollo de cada época.

1.3.2.1 Modernización y transferencia de tecnología

Los proyectos de cooperación dentro del sistema de ayuda al desarrollo se remontan a la década de 1950, coincidiendo con el fin de la II Guerra Mundial, donde se iniciaba un proceso de expansión económica (Unceta y Yoldi, 2000). En esta época se consideraba que la inversión productiva, el crecimiento económico y la industrialización eran las estrategias más adecuadas para lograr el éxito en la transición hacia el desarrollo (Griffin, 1991; Unceta, 1996). En este contexto, los proyectos de cooperación internacional eran vehículos de ayuda fundamentales. Éstos generalmente priorizaban inversiones en tecnológica e infraestructura, con un diseño principalmente jerárquico (Robb, 2004).

Estos proyectos se centraban en la transferencia de tecnología para aumentar la productividad en el ámbito rural de países subdesarrollados, centrándose en procesos agroproductivos, infraestructuras de transporte, electrificación, abastecimiento de agua, etc. (Fernández-Baldor et al., 2012). Dichos proyectos eran implementados por personal técnico ajeno a las comunidades rurales en las que tenían lugar, el cual tomaba las decisiones en cuanto a la tecnología se refiere, sin considerar participación alguna de la comunidad (Fernández-Baldor et al., 2012).

Este modelo de desarrollo ha sido criticado por la falta de adaptación a contextos locales, convirtiendo a la población local en “beneficiarios” pasivos de una ayuda externa. En este sentido, dado que no existe participación, la transferencia de conocimiento es prácticamente inexistente (Chambers, 1997). Por otra parte, Shiva (2009) se opone a este modelo dado que existen riesgos para el medio ambiente y aumenta la dependencia externa.

1.3.2.2 Tecnologías Apropriadas

En la década de 1970 surge la corriente de Tecnologías Apropriadas, en base a las reflexiones de E.F. Schumacher. Este enfoque se centraba en el crecimiento económico y desarrollo social de las áreas rurales, especialmente en la satisfacción de las necesidades básicas de las personas (Streeten, 1981), en el fortalecimiento de sus procesos productivos de pequeña envergadura y la creación de puestos de trabajo locales, reduciendo así la dependencia externa y minimizando los procesos migratorios a las ciudades (Schumacher, 1973).

En concreto, los proyectos de desarrollo basados en este enfoque consistían en diseño de tecnologías en base a adaptaciones de tecnologías existentes, antiguas o en desuso. Dicha adaptación se centraba en las características sociales, económicas, culturales y ambientales de las comunidades rurales donde se implementaban, considerando también la disponibilidad de recursos locales (Leach and Scoones, 2006; Chambers, 1997). La población local está involucrada a nivel de mano de obra no cualificada, siendo el rol del técnico o ingeniero esencial a la hora de “adaptar” la tecnología a la comunidad, dejando a un lado el papel transformador y empoderador de los proyectos, así como las dinámicas internas de las comunidades (Fernández-Baldor et al., 2012).

1.3.2.3 Tecnologías para el Desarrollo Humano

Este nuevo paradigma del desarrollo, nacido en la década de 1980 y fuertemente impulsado en la década de 1990, se caracteriza por desvincularse de la consideración del crecimiento económico como base fundamental del desarrollo. En oposición a esta consideración dominante hasta la fecha, el enfoque de Desarrollo Humano defiende la ampliación de las oportunidades de las personas

como verdadero desarrollo. Por tanto, para erradicar la pobreza debe dotarse a los individuos de la libertad para decidir sobre su propio futuro y llevar a cabo los planes de vida que tiene razones para valorar (ul Haq, 1995). Según Sen (1999) “El desarrollo de una persona consiste en expandir el conjunto de capacidades a partir del cual cada persona toma sus decisiones vitales y profesionales liberado de las ataduras (*unfreedoms*) que dejan a las personas con poca capacidad de elección y pocas oportunidades para ejercitar su agencia”.

Como parte de este enfoque, el concepto de Tecnología para el Desarrollo Humano (TpDH) gana una importancia crucial en el debate por el desarrollo. Éste considera la tecnología como promotora del desarrollo gracias a los avances en medicina, energía, comunicaciones, etc., así como al crecimiento económico derivado del aumento productivo, que finalmente se traduce también mayores recursos para educación, salud, comunicaciones, etc. que terminan favoreciendo el desarrollo humano (PNUD, 2001).

Con la difusión de este enfoque, los proyectos tecnológicos de cooperación internacional se centran en la transferencia de tecnología, considerando ésta un bien o servicio con el objetivo de aumentar la productividad y las capacidades humanas en una sociedad interconectada. No obstante, en la práctica este tipo de proyectos se han llevado a cabo con escasa participación de la población, siendo el rol del técnico el de transferir una tecnología (generalmente desarrollada en países del Norte¹) y desvinculando a la población de la toma de decisiones importantes (Fernández-Baldor et al., 2012). Además, este enfoque ha sido criticado por su incapacidad para generar procesos efectivos de transferencia y generación de conocimiento, lo cual fija la brecha tecnológica e incluso aumenta la dependencia externa (Leach y Scoones, 2006). Incluso se ha considerado que las TpDH fomentan meramente el crecimiento económico y la aparición de nuevas tecnologías (Shiva, 2009; Dagnino, 2006), además de centrarse en la provisión de bienes o servicios sin prestar atención al proceso que permite a las personas ampliar sus libertades reales (Fernández-Baldor et al., 2009).

1.3.3 Technologies for Freedom

Como se ha descrito, los anteriores enfoques tecnológicos en proyectos de desarrollo empleados han recibido críticas por enfocarse en la tecnología como un recurso necesario para el desarrollo. En cambio, es necesario poner mayores esfuerzos en los procesos de los proyectos para lograr verdaderas ampliaciones en las libertades de las personas y fortalecer su agencia.

Así, en 2009 nace el enfoque Technologies For Freedom (T4F), el cual trata de desarrollar proyectos tecnológicos que incorporen, en todas sus etapas, una intención clara de expandir las libertades y agencia de las personas (Fernández-Baldor et al., 2009). Para ello, este enfoque pone mucho énfasis en la comprensión de las normas sociales, las razones que motivan a las personas a tomar decisiones individuales y comunales y los valores de las personas a través de metodologías que permitan una participación efectiva. Un proyecto con enfoque T4F debe estar liderado por la comunidad, reforzando los procesos de apropiación, así como los principios del Desarrollo Humano, equidad, empoderamiento, sostenibilidad y productividad. Finalmente, el personal externo debe jugar un rol de facilitador en vez del rol de implementador de tecnología. Esto implica transferir el poder de investigar, diagnosticar, diseñar y planificar a la población, integrando sus propios

¹ Se ha considera la división Norte-Sur para hacer referencia a la división social, económica y política que existe entre los países considerados "desarrollados", también conocidos como países del "Norte" y los países "en vías de desarrollo" o países del "Sur"

conocimientos. Así, se puede aumentar la autoestima de la población, sus capacidades y su participación en la toma de decisiones (Fernández-Baldor et al., 2012).

En la Tabla 1.1 se presenta una comparativa entre los distintos enfoques tecnológicos descritos anteriormente.

Tabla 1.1. Visiones de la tecnología en los proyectos de cooperación

	Modernización y transferencia de tecnología	Tecnologías Apropriadas (AT)	Tecnologías para el Desarrollo Humano (visión PNUD-IDH 2001)	Technologies for Freedom (T4F)
Foco del proyecto	Tecnología (Bienes y servicios)	Tecnología (Bienes y servicios)	Tecnología (Bienes y servicios)	Personas (Procesos)
Generación de conocimiento en la comunidad	No un objetivo	No un objetivo	No un objetivo	Sí
Transferencia de tecnología	Top-down	Top-down	Top-down	Bidireccional: Bottom-up y Top-down
Participación comunitaria	No necesaria	Sí	Sí	Sí
Rol del técnico	Fundamental (implementar una tecnología)	Esencial (adaptar una tecnología)	Intermediario (“vendedor” de innovaciones)	Secundario (presentar y facilitar opciones)
Comunidad involucrada y motivada	No necesario	No necesario	No necesario	Necesario
Equidad y diversidad	No necesario	No necesario	No necesario	Necesario
Expansión de capacidades	No una prioridad	No una prioridad	Sí	Sí
Expansión de agencia	No una prioridad	No una prioridad	No una prioridad	Sí

Fuente: Fernández-Baldor et al. (2012).

1.4 Breve descripción de las tecnologías involucradas en la investigación

Dado que son varias y muy diversas las tecnologías que forman parte de los proyectos analizados, a continuación se describen brevemente las características de cada una de ellas, y en la Tabla 1.2 se muestran imágenes de las mismas, para facilitar la lectura:

- **Microcentrales hidroeléctricas:** Las MCH son sistemas que aprovechan la energía cinética y potencial del agua para transformarla en electricidad disponible para su uso en las mismas condiciones que la red eléctrica nacional. Estas instalaciones se construyen generalmente en los cauces de los ríos desviando una parte del caudal y transportándolo hacia una turbina que convertirá la energía del agua en electricidad a través de un generador eléctrico. Una vez ha cedido su energía, el agua es restituida al río a través del canal de descarga.
- **Sistemas solares fotovoltaicos:** Los sistemas SFV son una forma de aprovechamiento de la radiación solar que se efectúa a través de una célula fotovoltaica. Este tipo de sistemas es capaz de convertir esta radiación en electricidad de una forma directa e inmediata. La energía solar fotovoltaica es uno de los recursos energéticos más usados para llevar la electricidad al medio rural, gracias a sus propiedades de modularidad, autonomía, bajo mantenimiento y nula contaminación en su operación, que caracterizan esta tecnología energética.
- **Aerogeneradores:** Los aerogeneradores, o turbinas eólicas en su acepción, son generadores eléctricos movidos por turbinas accionadas por el viento. Si bien existen distintas tipologías de aerogeneradores, en esta investigación se han considerado sistemas de eje horizontal de pequeña escala y bajo coste. Estos sistemas son también muy adecuados para el medio rural ya que tienen la ventaja de poder ser fabricados localmente y favorecen la economía de escala cuando se necesitan mayores cantidades de energía, especialmente en microrredes.
- **Sistemas híbridos (fotovoltaica + eólica):** Los recursos solar y eólico son variables, pudiendo existir períodos de muy baja generación en los que el usuario pueda quedarse sin suministro eléctrico. Una forma de paliar este inconveniente consiste en adjuntar otro tipo de tecnología de generación eléctrica que superponga su curva de generación en el tiempo, de forma que se consiga un suministro más seguro, estable y confiable. En particular, es de vital importancia este tipo de configuración en aplicaciones de elevada responsabilidad, en que el corte de suministro puede suponer un grave perjuicio al sistema en general. Dentro de las energías renovables, sobretodo en viviendas dispersas, lo más habitual es que la combinación se realice con generadores eólicos y solares. La superposición del recurso eólico con el recurso fotovoltaico suele ofrecer un rendimiento muy elevado, ya que en la noche, cuando los paneles solares dejan de generar, el recurso eólico se mantiene elevado.
- **Muros Trombe:** Un muro Trombe es un sistema que capta la energía solar para luego utilizarla en el calentamiento interno de las viviendas. Consiste en crear un volumen de aire caliente colocando láminas de vidrio o plástico entre el ambiente exterior y una pared (adobe, ladrillo, hormigón) que está pintada de negro en su parte exterior, la cual tiene orificios en la parte superior e inferior para permitir el flujo de aire caliente al interior de la vivienda. Durante el día el aire que está entre la pared y la superficie traslucida, se

calienta y se eleva hasta la parte alta del muro Trombe, ingresando a la habitación por los orificios superiores de la pared. El aire frío de la habitación ingresa al muro Trombe por los orificios inferiores, donde se calienta por efecto de la radiación solar, y vuelve a ingresar a la habitación por los orificios superiores (ver Ilustración 1). Es necesario tener en cuenta que este proceso se invierte en las noches y por esta razón los orificios deben de ser cerrados cuando empieza a oscurecer.

- **Sistemas Solares Térmicos:** En este tipo de sistemas, el aprovechamiento energético se realiza mediante colectores solares, los cuales captan la radiación solar, utilizándola para calentar un determinado fluido (normalmente agua). En las zonas rurales, los sistemas solares térmicos se utilizan principalmente para producir agua caliente sanitaria (ACS) con el fin de mejorar la situación de los servicios básicos y la calidad de vida de la población, proporcionando mayor comodidad e higiene. Para instalaciones solares térmicas domiciliarias normalmente se utilizan colectores de baja temperatura. En estos casos, la captación de energía solar se realiza de forma directa, elevando la temperatura del fluido sin llegar al punto de ebullición. En este caso hablamos de una cantidad de agua relativamente pequeña, no siendo necesarios grandes colectores para calentarla.
- **Biodigestores:** Un biodigestor es un sistema que aprovecha la digestión anaeróbica, es decir en ausencia de oxígeno, de las bacterias que habitan en el estiércol, para transformar éste en biogás y fertilizante. El biogás puede ser empleado como combustible en la cocción de alimentos o para calefacción. En biodigestores tubulares unifamiliares a más de 2.000 m.s.n.m. se puede llegar a producir entre 1 y 2 m³ de biogás diariamente, lo que significa una duración de entre 3 y 4 horas de cocción de alimentos por día. El fertilizante, llamado biol, provee a las familias de un abono orgánico que mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas.
- **Cocinas Mejoradas:** Una cocina mejorada es un sistema que garantiza mejores condiciones de seguridad, salubridad y eficiencia que la cocina tradicional a fuego abierto. En ella no hay contacto directo con el fuego ya que la combustión de la biomasa se realiza en una cámara de combustión cerrada. Ésta se comunica internamente con las hornillas y éstas a su vez con la chimenea, por donde se evacúan de manera eficiente las emisiones gaseosas (humos). Al implementar este tipo de cocinas se busca conseguir una combustión eficiente produciendo menos emisiones contaminantes y una eficaz transferencia de calor ahorrando lo máximo posible en combustible.

Tabla 1.2. Tecnologías analizadas a lo largo de la investigación.





Fuente: Elaboración propia

1.5 Consideraciones metodológicas generales

Los artículos incorporados en esta tesis, recogidos en el Capítulo 2, son autónomos, de modo que evidentemente exponen sus propios fundamentos teóricos y su metodología. Sin embargo, cabe decir que existen determinados posicionamientos teóricos básicos y un tipo de estrategia metodológica que son comunes a todos los capítulos de la tesis.

1.5.1 El caso de estudio de comunidades rurales altoandinas en la región Cajamarca, Perú

En esta tesis se emplea el estudio de caso como estrategia de investigación principal, entendiendo éste como el análisis minucioso de un proceso individual que explica intensivamente un caso. La estrategia de investigación basada en el estudio de casos es aquella que recurre a diseños

metodológicos que pueden combinar procedimientos cualitativos y cuantitativos y que tiene por objetivo la construcción de teoría de diferente alcance y nivel, para dilucidar y esclarecer determinado fenómeno. El objetivo es hacer una investigación profunda sobre determinado proceso, conservando la visión total de fenómeno.

Si bien en base a los estudios de caso no se pueden definir leyes o patrones generales, los resultados y su interpretación pueden ser suficientes para generar ideas y opciones para diferentes escenarios. No existe la intención de establecer una generalización en el sentido estadístico término. Los casos de estudio no son tomados como una muestra representativa del fenómeno y, por lo tanto, los resultados no pueden plantearse iguales para una población entera (Yin, 1994). No obstante, este método permite la generalización teórica que envuelve el surgimiento de nuevas interpretaciones y conceptos o la reexaminación de otros conceptos e interpretaciones de formas innovadoras (Arzaluz, 2005). En nuestro caso, partimos de áreas de conocimiento poco desarrolladas en las que se tienen que crear nuevas teorías. En este sentido, entendemos que la investigación debe avanzar de forma inductiva generando hipótesis que posteriores estudios intentarán confirmar (Merriam, 1988). En este sentido, esta metodología es completamente válida para dar respuesta a las preguntas de investigación.

Esta metodología de investigación tiene numerosas ventajas: permite la posibilidad de estudiar eventos humanos y acciones en sus escenarios naturales; provee información de varias fuentes y durante un periodo de tiempo que permite un estudio holístico de complejas redes sociales y de la complejidad de la acción social y sus significados sociales; y proporciona al investigador un panorama de los vaivenes de la vida social en el tiempo y el despliegue de los patrones de la vida cotidiana tal como ésta cambia. Asimismo, los estudios de caso pueden ser útiles para el establecimiento de políticas públicas, y las experiencias encontradas son importantes para refinar acciones y expectativas (Arzaluz, 2005).

Cabe mencionar que los estudios de caso no pueden ser repetidos porque se analizan procesos complejos en el tiempo, con escenarios sociales que están cambiando constantemente. En este sentido, para cerciorarse de la confiabilidad de las fuentes, la triangulación resulta fundamental, entendiendo ésta como “*el proceso de uso de múltiples percepciones para clarificar significados, verificando la repetición de observaciones o interpretaciones*” (Stake, 1994).

1.5.1.1 Contexto socioeconómico en la región Cajamarca, Perú

La investigación se ha centrado en el ámbito rural andino de la región Cajamarca, especialmente en comunidades rurales en zonas remotas y, en general, a más de 3.000 metros sobre el nivel del mar.

Según el PNUD (2013), el Índice de Desarrollo Humano en Cajamarca es de 0.3773, ocupando el vigésimo lugar en el Perú. Más en detalle, la esperanza de vida al nacer es de 73.83 años, solo un 54.78% de la población ha completado la educación secundaria, el promedio de años de educación es de 6.4 y el ingreso familiar per cápita es de 421.3 Nuevos Soles².

² Se considera una tasa de cambio Dólar / Nuevos Soles de aproximadamente 2.60.

En la Figura 1.1 se muestra un mapa para ubicar geográficamente el área en que donde se ubican las comunidades rural objeto de esta investigación.



Figura 1.1. Mapa geográfico de Cajamarca, Perú.

La región Cajamarca tiene una población aproximada de 1.5 millones de habitantes, de los cuales el 68% vive en zonas rurales. La densidad de población promedio es de 45 hab/km², lo cual indica que nos encontramos en una zona con poblaciones muy dispersas, no solo entre poblados, sino también entre viviendas de una misma comunidad. Si a esto sumamos los procesos migratorios de la población rural, especialmente los más jóvenes, hacia las capitales de provincia en busca de nuevas oportunidades de vida, lo cual es una constante en el país, es probable que este índice se reduzca paulatinamente en las zonas rurales.

La baja densidad poblacional y la alta dispersión de la población en la región han generado un retraso de la inversión pública en servicios de electrificación, saneamiento y educación. Junto con el déficit de electrificación y saneamiento, así como los bajos rendimientos en educación, existe también en Cajamarca un grave problema de infraestructura vial que impide la integración al mercado de amplios sectores de la población, perennizando una economía de subsistencia y autoconsumo.

Según el último Censo de Población y Vivienda (INEI, 2008), en términos educativos, un 11.8% de la población cajamarquina es analfabeta, un 20.2% no ha completado la educación primaria y solo un 2.8% ha completado estudios universitarios. En cuanto a servicios de agua y saneamiento, un 44.2% de los habitantes de Cajamarca no disponen de agua potable en la vivienda y un 72.9% no dispone de desagüe en la vivienda. En cuanto a la electricidad, un 60% de la población no dispone servicio eléctrico.

Dado que las familias rurales que no cuentan con servicios básicos de energía, agua y saneamiento, satisfacen sus necesidades con las fuentes y medios más accesibles, lo cual implica un gasto permanente que éstas tienen que cubrir. Por ejemplo, en el caso del acceso a la energía, las familias rurales altoandinas realizan un gasto mensual entre cinco y diez dólares aproximadamente, cubriendo de manera limitada dichas necesidades con el consumo de combustibles derivados del petróleo, velas, etc.

Si bien el número de pequeños emprendedores incorporados a esquemas de mercado ha aumentado gracias a las expectativas de crecimiento en los últimos años, éste se está dando principalmente en las ciudades. El área rural mantiene todavía muchas carencias y en el sector agropecuario, fuente de empleo e ingresos de la mayoría de la población, prima el minifundio, con predios de 3 hectáreas en promedio por familia y una baja productividad.

En cuanto a las estructuras organizativas, la organización comunal responde a las necesidades, experiencias y estrategias de sobrevivencia de la propia población. Como parte de la formalidad, toda comunidad cuenta con autoridades (teniente gobernador, representante del gobierno central y agente municipal, representante del gobierno local). Sin embargo no siempre estas autoridades tienen liderazgo en la comunidad.

En términos de género, según los indicadores del INEI (2015), cabe destacar que un 54.3% de las mujeres no tiene ningún ingreso económico frente a un 20% de hombres. Además, un 25.4% de mujeres reportaron padecer algún problema de salud crónico, frente a un 15.8% en hombres; un 21% de las mujeres son analfabetas, frente a un 7.3% de los hombres; y el 24.7% de las mujeres declara haber sido víctima de violencia física ejercida alguna vez por parte del esposo o compañero. Estos datos reflejan la evidente desigualdad de género existente en la estructura social cajamarquina.

Cabe resaltar en este punto que, si bien en 1998 entró en vigor de la Ley de Cuotas, la cual exige un mínimo del 30% de representación de cualquiera de los sexos en las listas electorales, la calidad de la participación de la mujer y su representatividad en la política siguen siendo muy deficientes. En efecto, solo 1 mujer fue elegida alcaldesa de distrito y 170 regidoras en el periodo 2011-2014, frente a 122 alcaldes y 503 regidores varones.

Con todo, nos encontramos ante una de las regiones con mayor índice de pobreza en el Perú, lo cual la convierte en una de las más vulnerables de Latinoamérica. Las barreras que deben superarse para promover procesos de desarrollo son elevadas y los ámbitos de actuación en los que debe centrarse el gobierno y las instituciones de desarrollo son muy amplias.

1.5.1.2 Selección de proyectos como casos de estudio en Cajamarca

Las características de los proyectos objeto de estudio en esta tesis son:

- **Alto Perú:** Una comunidad con 51 familias. Debido al alto nivel de dispersión entre los hogares en esta comunidad y la variabilidad de los recursos energéticos disponibles, diferentes sistemas de electrificación se instalaron en diferentes áreas. En primer lugar, se instaló una MCH para abastecer a cuatro hogares y la escuela, que se encuentran cerca unas de las otras y cerca de la única pequeña cascada en la zona. En segundo lugar, en la zona alta de la comunidad, donde los recursos del viento son alta y las casas se encuentran

agrupadas, se instaló una microrred eólica alimentada por aerogeneradores fabricados en el país (Leary et al., 2012). En tercer lugar, 40 casas ubicadas en la zona baja de la comunidad, donde no hay los recursos hídricos disponibles, el viento es escaso, y hay una tasa de dispersión enorme, fueron electrificadas con SFV individuales. Por último, se construyó una microrred SFV para cuatro familias, un centro de salud y un restaurante, que se encuentran en una zona sin viento o ni recurso hidráulico. Todos los sistemas funcionan con corriente alterna, y hay tres operadores y un administrador para todos los sistemas. La tarifa mensual que cada usuario debe pagar depende del consumo, con una línea de base de 13 Nuevos Soles (NS). A mayor consumo, la tarifa por Wh se vuelve más barata (tarifa de bloques decrecientes), para fomentar la creación de pequeñas empresas. Este proyecto se implementó entre los años 2008 y 2010.

- **Suro Antivo:** Una comunidad con 60 familias. Como el recurso hidráulico era abundante en esta comunidad, se instaló una MCH para suministrar electricidad a los hogares y la escuela. El proyecto fue ejecutado en dos fases, con 45 casas electrificadas en la primera y 15 en la segunda. Todos los sistemas funcionan con corriente alterna, y hay dos operadores que se alternan mensualmente y un administrador. La tarifa mensual que cada usuario debe pagar depende del consumo, con una línea de base de 10 NS (tarifa de bloques decrecientes). Este proyecto se llevó a cabo entre 2009 y 2012.
- **Chorro Blanco:** Esta comunidad, que también tiene suficiente recurso hidráulico, tiene 37 familias electrificadas con una MCH. Todos los sistemas funcionan con corriente alterna, y hay un operador y un administrador. La tarifa mensual que cada usuario debe pagar depende del consumo, con una línea de base de 10 NS (tarifa de bloques decrecientes). Este proyecto se desarrolló entre 2009 y 2010.
- **Campo Alegre:** En esta comunidad, donde no se identificó ningún recurso hidráulico y las casas se encuentran muy lejos unas de otras, se instalaron sistemas híbridos SFV-eólicos individuales en 20 hogares. Se definió la combinación de estas dos tecnologías para ofrecer un servicio más confiable que un solo sistema solo tecnología (Bhattacharyya, 2012b; Hiremath et al., 2009). Todos los sistemas funcionan con corriente continua, y hay un operador y un administrador. Cada usuario debe pagar una tarifa plana de 14 NS. Este proyecto se implementó entre 2007 y 2008.
- **El Regalado:** Como el recurso hidráulico era abundante en esta comunidad, se instaló una MCH para suministrar electricidad a 31 hogares. Todos los sistemas funcionan con corriente alterna, y hay un operador y un administrador. La tarifa mensual que cada usuario debe pagar depende del consumo, con una línea de base de 10 NS (tarifa de bloques decrecientes). Este proyecto se llevó a cabo entre 2008 y 2009.
- **Pucara:** En esta comunidad se instalaron 6 tecnologías: MCH, SFV, biodigestores, cocinas mejoradas, muros Trombe y sistemas solares térmicos. En concreto, se instaló una MCH para electrificar 22 viviendas, la escuela y dos iglesias, y 7 sistemas SFV individuales fueron utilizados para dotar de acceso a la electricidad a las viviendas más alejadas del

salto de agua; se instalaron 5 biodigestores unifamiliares; se construyeron 29 cocinas mejoradas, una en cada vivienda; se colocaron 7 muros Trombe; y se instalaron 19 sistemas solares térmicos. Los usuarios pagan una tarifa diferente para cada una de ellas. Este proyecto se desarrolló entre 2011 y 2013.

1.5.1.3 El modelo de gestión comunitario como elemento común entre proyectos

Existen numerosos modelos de gestión de los sistemas de electrificación independientes, entre los cuales los más comunes son los modelos privados, cooperativos, municipales, gubernamentales y comunitarios. Estos modelos tienen diferentes características en cuanto a la propiedad de los sistemas, el nivel de participación de los usuarios, la responsabilidad de la operación y mantenimiento de los equipos, involucración de los usuarios en la construcción de infraestructuras e instalación de equipos, gestión de pagos de tarifas, etc. (ESMAP, 2001).

En esta tesis todos los casos de estudio cuentan con un modelo de gestión comunitario. En particular, los proyectos de Alto Perú, Suro Antivo, Chorro Blanco, Campo Alegre y El Regalado se trata del modelo de gestión microempresarial, el cuál fue diseñado y promovido por Practical Action, una ONG que opera en Latinoamérica desde 1985. Este modelo comunitario tiene como objetivo principal asegurar la sostenibilidad técnica y económica de las ER. En este modelo de gestión, los propietarios de los sistemas (generalmente la Municipalidad Distrital) dan la responsabilidad de operación, mantenimiento y administración de una microempresa local privada (gestionado localmente por los miembros de la comunidad) a través de un contrato de medio o largo plazo.

El modelo de gestión se compone de diferentes actores, de los cuales la microempresa, los usuarios y el comité de control, y el municipio son los más importantes (Ferrer-Martí et al., 2012):

- **Usuarios y comité de control:** Cada usuario debe pagar una tarifa mensual que cubre el mantenimiento de los equipos y tiene el derecho de asistir a unas asambleas mensuales donde se revisan asuntos financieros y se llevan a cabo los procesos de toma de decisiones. Además, la comunidad evalúa periódicamente el desempeño de la microempresa y, o bien re-elige al operador/administrador actual o nombra a una nueva persona. Por otra parte, el comité de control elegido por la asamblea y compuesto por la población local, principalmente las autoridades, es responsable de supervisar la administración de la microempresa (uso del dinero de las tarifas, gestión de impagados, calidad de servicio, etc.) para asegurar el cumplimiento de las obligaciones de los usuarios y atender sus quejas o sugerencias.
- **Microempresa:** La microempresa se compone de uno o más de los residentes de la comunidad. En cada comunidad, por lo general hay un operador y un administrador que son responsables de la operación, el mantenimiento preventivo y correctivo, y el cobro de las tarifas mensuales. Dichos técnicos son seleccionados por la propia comunidad reunida en asamblea, usando criterios como reputación, involucración en asuntos comunitarios, capacidades técnicas y evaluación de sus resultados durante la formación de técnicos locales. Con el dinero de las tarifas mensuales se forma un fondo de reserva que se deposita en una cuenta bancaria, y dota a la microempresa de la capacidad económica para realizar

las tareas de Operación y Mantenimiento que los sistemas puedan requerir. Esto incluye el pago mensual al operador y administrador, el coste de reparaciones en caso de averías, así como la sustitución de equipos cuando llegan al final de su vida útil. Este último punto es especialmente relevante en el caso de las baterías en sistemas SFV y eólicos aislados, ya que su vida útil es inferior al resto de equipos del sistema y su coste es elevado.

- **Municipalidad:** Los propietarios legales de los sistemas son las municipalidades. Éstas firman un contrato de concesión asignando la gestión de servicios a la microempresa; por lo tanto, no puede interferir con las operaciones del día a día. Sin embargo, como propietario legal, comparte la responsabilidad de sustituir los equipos cuando sea necesario, por lo que debe contribuir al fondo de reserva de la comunidad si esta reserva es insuficiente, lo que refuerza la sostenibilidad del sistema sin reducir la responsabilidad de los usuarios.

En el caso del proyecto de Pucara, se trata de un modelo comunitario innovador, que integra tanto servicios energéticos como de saneamiento, cuyo diseño es parte de los objetivos de esta tesis y se presenta en la Sección 2.5.

1.5.2 Paradigma de investigación mixto: metodologías cuantitativas y cualitativas

Existen dos grandes marcos de referencia globales que han orientado la investigación social desde su nacimiento: el “positivismo” y el “interpretativismo”. El paradigma positivista puede considerarse como “el estudio de la realidad social utilizando el marco conceptual, las técnicas de observación y medición, los instrumentos de análisis matemático y los procedimientos de inferencia de las ciencias naturales” (Corbetta, 2007). En contraposición, la concepción interpretativista emerge como una reacción al planteamiento anterior que, al reducir la realidad social y la acción humana a algo objetivamente, silenciaba precisamente la dimensión individual, el aspecto “humano”, lo que distingue el mundo de los humanos del mundo de las cosas. Los componentes individuales, la motivación, la intención, los valores, el libre albedrío, no perceptibles con los instrumentos positivistas, también llamados cuantitativos, se convierten en el principal objeto de investigación en la concepción interpretativista (Corbetta, 2007). Este paradigma, también llamado cualitativo, tiene la ventaja de introducir al observador en la complejidad fenomenológica del mundo, donde puede ser testigo de las conexiones, correlaciones y causas tal como se desarrollan.

En esta investigación se usan métodos para la obtención de información relacionados con ambos paradigmas, entendiendo que, en la práctica, para obtener un buen estudio es necesario el uso de los dos tipos de métodos, pues el tipo de información que nos aportan es diferente y complementario. La apertura y flexibilidad de las técnicas cualitativas permite estudiar con detalle los aspectos internos y profundos de ese qué (el porqué de las cosas). Por su parte, las técnicas cuantitativas cuantifican y miden determinadas magnitudes (nos dicen el qué de las cosas).

En cuanto a las técnicas cualitativas empleadas en esta investigación encontramos la Observación Participante, las Entrevistas y los Grupos de Discusión, los cuales se describen a continuación. Cabe destacar que todas estas herramientas han sido empleadas en todas las comunidades rurales objeto de estudio.

La Observación Participante emplea entrevistas, análisis de documentos del pasado, recopilación de datos censales, informantes y realiza observación directa. Este método puede definirse como "el proceso de aprendizaje a través de la exposición y el involucrarse en el día a día o las actividades de rutina de los participantes en el escenario del investigador" (Schensul et al., 1999). Según DeWalt & DeWalt (2002), a través de la observación participante se puede desarrollar una comprensión holística de los fenómenos en estudio que sea tan objetiva y precisa como sea posible. Proporciona a los investigadores métodos para revisar expresiones no verbales de sentimientos, determinar quién interactúa con quién, comprender cómo los participantes se comunican entre ellos, y verificar cuánto tiempo se está gastando en determinadas actividades (Schmuck, 1997). Resulta especialmente apropiada cuando se sabe poco sobre los fenómenos que hay que estudiar, cuando hay grandes diferencias entre los puntos de vista de los miembros y de los ajenos o cuando el fenómeno se oculta a la luz pública. Actuando como Observador-como-participante tendremos más probabilidades de tener acceso a una amplia gama de información y una mayor libertad de observación. Esta técnica de investigación ha sido empleada en todos los casos de estudio analizados.

La técnica de la entrevista cualitativa pretende obtener datos preguntando a los sujetos en una situación cara a cara (Taylor y Bogdan, 1996), pero con el objetivo característico de la investigación cualitativa de conocer la individualidad de la persona entrevistada y ver el mundo con sus ojos. Según Fontana y Frey (2005), la entrevista cualitativa permite la recopilación de información detallada en vista de que la persona que informa comparte oralmente con el investigador aquello concerniente a un tema específico o evento acaecido en su vida. La entrevista, más que buscar información sobre hechos, busca un discurso nativo que los comente, que los valore, que los relacione y contraste con otros, de forma que en dicho discurso el actor nos derrame sus modos de categorizar la experiencia; un discurso donde el actor desarrolle estrategias la observación de las que resulte relevante para nuestros propósitos o desarrolle un conjunto de descripciones y opiniones desde las que podamos inferir pautas, valores, principios o creencias en operación. La entrevista cualitativa debe acceder, si no a la psique profunda, al menos al mundo de las emociones y los sentimientos del sujeto entrevistado, a sus pensamientos más genuinos. No es un procedimiento de obtención de información, si no de interacción social entre dos individuos, en la que se deberá tener en cuenta la explicación previa del objetivo de la investigación para hacer comprender al entrevistado qué se quiere de él, la realización de preguntas primarias para introducir nuevos temas o preguntas exploratorias para animar al entrevistado a seguir con su relato.

En todos los estudios de caso se han usado tanto entrevistas semiestructuradas, donde el entrevistador dispone de un "guión" con todos los temas que debe tratar en la entrevista, aunque puede decidir libremente sobre el orden de la presentación de los diversos temas y el modo de formular las preguntas; y no estructuradas, en las que el esquema de preguntas y secuencia no está prefijada, las preguntas pueden ser de carácter abierto y el entrevistado tiene que construir la respuesta (Del Rincón et al., 1995).

El grupo de discusión se adapta mejor al estudio de fenómenos sociales que son hablados cotidianamente, que aparecen en las prácticas discursivas habituales de los sujetos, incluso cuando se encuentran con desconocidos (Abercrombie, 1996). Se trata de un escenario en el que los miembros del grupo se influyen mutuamente, puesto que responden a las ideas y comentarios que

surgen de la discusión (Krueger, 1991), configurándose como un instrumento fundamental para producir datos que serían inaccesibles sin la interacción que se encuentra en el grupo (Morgan, 1996). Con respecto a las características que deben tener los participantes en cada una de las reuniones, la necesidad de homogeneidad está impuesta por la productividad discursiva del grupo de discusión y por la representatividad. El marco para la productividad discursiva puede asegurarse reuniendo campos simbólicos afines, incorporados por los sujetos. Los campos simbólicos afines permiten el intercambio. Sin embargo, dentro de esta homogeneidad necesaria, es necesario que haya un cierto grado de heterogeneidad con respecto al objeto de investigación por contrastar la primera. La heterogeneidad inyecta energía a la dinámica y pone en cuestión los vínculos de los participantes con el objeto de investigación, al facilitar que unos y otros se cuestionan entre sí. No obstante, una heterogeneidad excesiva bloquearía el proceso de reagrupación. No es vería la posibilidad de alcanzar el grupo. Como motor del grupo, el principal papel del moderador es dejar hablar y, principalmente, inhibir cualquier indicio de estructura jerárquica que pueda emerger durante la dinámica, evitando que el grupo se jerarquice entre líderes y seguidores.

En cuanto a técnicas cuantitativas, la más utilizada en la recolección de datos ha sido la encuesta. Se trata de una técnica que utiliza un conjunto de procedimientos estandarizados de investigación mediante los cuales se recoge y analiza una serie de datos de una muestra de casos representativa de una población o universo más amplio, del que se pretende explorar, describir, predecir y/o explicar una serie de características (García, 1993). En la práctica, mediante la utilización de un cuestionario estructurado o conjunto de preguntas, permite obtener información de una población representativa amplia de manera rápida y económica. En una encuesta, el interés del investigador va más allá del individuo del que obtiene la información, extendiéndose a la población a la que éste pertenece. De ahí la necesidad de que la muestra sea representativa de dicha población. Las preguntas del cuestionario suelen ser pues cerradas en su mayoría, esto es, no se da opción a que quién responde se exprese con sus propias palabras (como la entrevista) sino que se marcan unas opciones de respuesta limitadas de las que elegir. Así, se consigue una codificación, comparativa y análisis de datos más rápido que en las entrevistas, en detrimento eso sí, de la profundidad y matización en las respuestas. Se podría pues decir que la encuesta es una entrevista de tipo estandarizada y cerrada, cubriendo el límite opuesto a la entrevista en profundidad. Esta técnica ha sido empleada principalmente en el estudio de caso de Pucará, en el que se recogió información de todas las familias de la comunidad a través de cuestionarios.

1.6 Guía de lectura de los artículos incluidos

Realizamos a continuación una breve introducción a cada uno de los capítulos que contienen las publicaciones incluidas en la tesis para situar su contribución a los objetivos de la investigación. En concreto, se presentan tres artículos en la revista *Energy for Sustainable Development*, indexada en el *Journal Citation Report*, así como dos capítulos de libros publicados en las editoriales Springer e Icaria.

1.6.1 A community electrification project: Combination of microgrids and household systems fed by wind, PV or micro-hydro energies according to micro-scale resource evaluation and social constraints

Autores: Bruno Domenech, Laia Ferrer-Martí, Pau Lillo, Rafael Pastor, José Chiroque.

Publicado en la revista *Energy for Sustainable Development* **23**, pp. 275-285 (2014).

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082614000945>

Para electrificar comunidades rurales aisladas generalmente se han empleado soluciones estandarizadas utilizando la misma tecnología en todos los puntos. Sin embargo, estas soluciones no siempre son apropiadas para la comunidad y su población. Este artículo tiene como objetivo describir el diseño técnico del sistema de electrificación de la comunidad de Alto Perú (en la región de Cajamarca, Perú), donde se utilizó la tecnología adecuada en cada área de acuerdo con la evaluación de los recursos de microescala y las necesidades socioeconómicas de la población. Específicamente se implementaron cuatro tecnologías: microrredes eólicas en la zona alta de la comunidad, una microcentral hidroeléctrica en una caída de agua, así como una microrred fotovoltaica y sistemas fotovoltaicos individuales en puntos dispersos con bajo potencial eólico. Este proyecto trajo electricidad a 58 viviendas, un centro de salud, una escuela, una iglesia, dos restaurantes y dos tiendas.

1.6.2 Evaluación Alto Perú

Autores: Pau Lillo, Álvaro Fernández-Baldor, José Javier Sastre, Alejandra Boni.

Publicado como capítulo del libro *Proyectos de Electrificación Rural con Energías Renovables. Experiencias, lecciones aprendidas y retos de futuro*, editado por Laia Ferrer-Martí, Aleix Cubells, Enrique Velo y Miquel Carrillo, editorial Icaria, pp. 198-200; 218-229 (2013).

<http://www.icariaeditorial.com/libros.php?id=1431>

Este artículo presenta los resultados obtenidos tras la evaluación en términos de bienestar y agencia del proyecto de electrificación en Alto Perú. Esta evaluación ha sido realizada desde el enfoque de capacidades (en adelante EC), utilizando una metodología de investigación diseñada ad hoc para la ocasión. El EC es un marco teórico que nos permite ampliar la base de información sobre la cual se realizan las evaluaciones, en la cual aspectos como el acceso, la sostenibilidad o el empoderamiento juegan un papel fundamental. Además, el EC es un marco que sitúa a las personas en el centro de las evaluaciones, para superar el mero análisis de impactos de proyectos en términos de recursos/servicios prestados o resultados obtenidos, bajando a un estudio centrado en las personas y analizando los cambios que el proyecto ha producido en sus vidas.

1.6.3 Gender, Energy and Inequalities: a Capability Approach Analysis of Renewable Electrification Projects in Cajamarca, Peru

Autores: Álvaro Fernández-Baldor, Pau Lillo, Alejandra Boni.

Publicado como capítulo del libro *Sustainable Access to Energy in the Global South. Essential Technologies and Implementation Approaches*, editado por Silvia Hostettler, Ashok Gadgil y Eileen Hazboun, editorial Springer, pp. 198-200; 193-205 (2015).

<http://www.springer.com/us/book/9783319202082>

La tecnología, aun siendo muy importante, no es el único factor que asegura el éxito de una intervención. Hay muchos elementos diferentes a tener en cuenta en la planificación de proyectos, especialmente en entornos complejos como las zonas menos desarrolladas del mundo. Sin embargo, las intervenciones de ayuda al desarrollo, en general, se han centrado en el suministro de un bien o servicio tecnológico en lugar de centrarse en las personas, perdiendo así el potencial del proyecto para la transformación social.

Este artículo presenta los principales resultados extraídos de una investigación realizada en Perú con Practical Action, una ONG tecnológica cuya sede se encuentra en el Reino Unido y tiene varias sucursales en África, Asia y América Latina. Esta investigación examina cuatro proyectos de electrificación con energías renovables en la zona rural de Cajamarca, en el norte de Perú, implementados por Soluciones Prácticas. Los cuatro casos se encuentran aislados de la red eléctrica nacional, cuentan con un modelo de gestión comunitaria y pueden ser considerados proyectos exitosos en términos de técnicos. A pesar de ello, ¿los proyectos de electrificación reducen las desigualdades y mejoran el bienestar de las personas? ¿hasta qué punto están los beneficios de esos proyectos distribuidos equitativamente entre hombres y mujeres? Éstas son las dos cuestiones principales abordadas en este artículo.

Mediante el uso de metodologías cualitativas, la investigación examina el impacto de los proyectos sobre las cosas que la gente valora. Se confirma que los proyectos ofrecen diferentes beneficios a las comunidades (reducción de la contaminación del aire por las velas y queroseno, mejora del acceso a la comunicación a través de la televisión y la radio, posibilidad de estudio de la noche bajo la luz adecuada, etc.), pero también se detecta una expansión de capacidades en otras áreas no consideradas por la ONG, relacionadas con la religión, el ocio o la participación en la comunidad. Sin embargo, la expansión de las capacidades es diferente entre hombres y mujeres. El estudio revela las limitaciones de las intervenciones que no tengan en cuenta ciertos elementos que pueden hacer que el uso de la tecnología contribuya de manera desigual a la expansión de las capacidades de las personas. El estudio concluye que los proyectos de electrificación pueden generar desigualdades y presenta algunas recomendaciones con el fin de abordar estas cuestiones en la planificación de las intervenciones.

1.6.4 Assessing management models for off-grid renewable energy electrification projects using the Human Development approach: case study in Peru

Autores: Pau Lillo, Laia Ferrer-Martí, Alejandra Boni, Álvaro Fernández-Baldor.

Publicado en la revista *Energy for Sustainable Development* 25, pp. 17-26 (2015).

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082614001161>

Los sistemas de electrificación basados en energías renovables han demostrado ser adecuados para proporcionar electricidad de forma autónoma a las comunidades rurales y reducir la pobreza. Cuando se implementan estos sistemas, generalmente se diseña un modelo de gestión para maximizar la sostenibilidad técnica y financiera. Para mejorar el diseño y funcionamiento de los sistemas, históricamente se han realizado evaluaciones de los modelos de gestión, centrándose en los productos y servicios finales del proyecto. Sin embargo, esta visión excesivamente utilitarista de desarrollo restringe el análisis del impacto que estos proyectos pueden tener en la vida de las personas. Para superar estas limitaciones, se ha utilizado el enfoque de desarrollo humano para evaluar el modelo de gestión de cinco proyectos de electrificación que utilizan diferentes tecnologías en Cajamarca (Perú). Con este enfoque, la base de la información se ha mejorado, lo que permite una evaluación más amplia de las diversas dimensiones clave del desarrollo que deben ser consideradas en el modelo de gestión para mejorar el impacto de este tipo de proyectos. Los resultados muestran las debilidades del proceso de diseño e implementación del modelo de gestión. Finalmente, se proponen varias ideas para abordar estas debilidades y maximizar las posibilidades de éxito.

1.6.5 A new integral management model and evaluation method to enhance sustainability of renewable energy projects for energy and sanitation services

Autores: Pau Lillo, Laia Ferrer-Martí, Álvaro Fernández-Baldor, Benito Ramírez.

Publicado en la revista *Energy for Sustainable Development* 29, pp. 1-12 (2015).

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082615000812>

Los sistemas autónomos basados en el uso de las energías renovables han demostrado ser adecuados para proporcionar los servicios de energía y saneamiento a las comunidades aisladas. Sin embargo, la mayoría de estos proyectos fracasan debido a las debilidades de gestión. En estos sistemas, el diseño de un modelo de gestión adecuado es un aspecto clave para la sostenibilidad, y resulta especialmente complejo si tiene que incluir diferentes tecnologías. Este trabajo tiene como objetivo el desarrollo de un modelo de gestión novedoso para proyectos de energía renovables para proporcionar servicios de energía y saneamiento capaz de incluir cualquier tipo de tecnología. Por otra parte, se propone un nuevo método para evaluar la sostenibilidad en cuanto a las dimensiones técnica, económica, social/ética, medioambiental e institucional/organizacional. En particular, se presenta el estudio de caso de la comunidad de Pucara (Perú), en la que se puso en práctica un proyecto con seis tecnologías diferentes, cuyo modelo de gestión integral comunitario fue diseñado en 2011. La sostenibilidad del proyecto se evaluó en 2013 y los resultados demuestran que el modelo de gestión ha logrado fortalecer la sostenibilidad del proyecto, sobre todo en los aspectos institucionales/organizacionales.

1.7 References

Abercrombie, N. (1996). *Television and Society*. Wiley.

- Arzaluz, S. (2005). La utilización del estudio de caso en el análisis local. *Región y Sociedad, Vol. XVII, n.º 32, pp. 107-144.*
- Benecke, G. (2008). Success factors for the effective implementation of renewable energy options for rural electrification in India – Potentials of the clean development mechanism. *International Journal of Energy Research 32, 1066-1079.*
- Bhattacharyya, S.C. (2012a). Review of alternative methodologies for analysing off-grid electricity supply. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 677-694.*
- Bhattacharyya, S.C. (2012b). Energy access programmes and sustainable development: A critical review and analysis. *Energy for Sustainable Development 16, 260-271.*
- Breyer, Ch., Gerlach, A., Hlusiak, M., Peters, C., Adelman, P., Winiecki, J., Schützeichel, H., Tsegaye, S. and Gashie, W, 2009. Electrifying the poor: Highly economic off-grid PV systems in Ethiopia – A basis for sustainable rural development. *24th European Photovoltaic Solar Energy Conference.*
- Carson, R. (1962). Silent spring. *Houghton Mifflin, New York.*
- Chambers, R. (1997). Whose reality counts? Putting the first last. *Intermediate Technology Publications, London.*
- Chaurey A, Ranganathana, M. and Mohanty, P. (2004). Electricity access for geographically disadvantaged rural communities – technology and policy insights. *Energy Policy 32 1693-1705.*
- Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL) (1982). Tipificación socioeconómica de los productores en el ámbito rural.
- Corbetta, P. (2007). Metodología y Técnicas de Investigación Social. *Mc Graw Hill. Madrid.*
- Dagnino, R. (2006). Política científica e tecnológica e tecnología social: Buscando convergencia. *En: Registro do forum nacional da RTS. Brasília: Abipti.*
- Del Rincón, D., Arnal, J., Latorre, A., Sans, A. (1995). Técnicas de Investigación en Ciencias Sociales. *Dykinson, Madrid.*
- Deneulin, S. (2004). Desarrollo humano, participación y género. *Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, San Salvador.*
- DeWalt, K., DeWalt, B. (2002). Participant observation: a guide for fieldworkers. *Walnut Creek, CA: AltaMira Press.*
- Ehrlich, P. (1968). The population bomb. *Ballantine, New York.*
- Energy Sector Management Programme (ESMAP) (2001). *Peru: Rural electrification.*
- Fernández-Baldor, Á., Hueso A., and Boni A. (2012b). From Individuality to Collectivity: The Challenges for Technology-Oriented Development Projects, *in I. Oosterlaken and J. Van der Hoven (Eds), The Capability Approach, Technology and Design, Springer, Dordrecht, pp. 223-244.*

- Ferrer-Martí, L., Garwood, A., Chiroque, J., Ramirez, B., Marcelo, O., Garfi, M. and Velo, E. (2012). Evaluating and comparing three community small-scale wind electrification projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16:5379–5390.
- Fontana, A., Frey, J. (2005). The Interview, from neutral stance to political involvement. *En N. K. Denzin & y S., Lincoln (Comp). The Sage Handbook of Qualitative Research (695-727), London.*
- Fernández-Baldor, A., Boni, A., Hueso, A. (2009). Technologies for freedom: Collective agency-oriented technology for development processes. *Paper presented at the Human Development and Capability Approach conference, Lima.*
- Fernández-Baldor, A., Boni, A., Hueso, A. (2012). Technologies for freedom: una visión de la tecnología para el desarrollo humano. *Estudios de Economía Aplicada, v. 30(3), pp. 971-996.*
- García, M. (1993). La encuesta. *En: Garcia M, Ibáñez J, Alvira F. El análisis de la realidad social. Métodos y técnicas de Investigación. Alianza Universidad Textos; p. 141-70.*
- Geilfus, F. (2002). 80 Herramientas para el desarrollo participativo. *IICA.*
- Gomez, M.F., Silveira, S. (2012). Delivering off-grid electricity systems in the Brazilian Amazon. *Energy for Sustainable Development 16, 155–67.*
- Griffin, K. (1991). Foreign aid and the cold war. *Development and change*. Vol. 22, p. 645-685.
- Hiremath, R., Kumar, B., Balachandra, P., Ravindranath, N.H. and Raghunandan, B. (2009). Decentralised renewable energy: Scope, relevance and applications in the Indian context. *Energy for Sustainable Development, 13:4–10.*
- Ilskog, E. (2008). Indicators for assessment of rural electrification—an approach for the comparison of apples and pears. *Energy Policy 36, 2665–2673.* Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2008). Censo de nacional de población y vivienda. *Lima.*
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2015). Indicadores de género. *Disponible en <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/brechas-de-genero-7913/>. Accedido el 08 de diciembre de 2015.*
- International Energy Agency (IEA) (2013). World Energy Outlook. *Paris.*
- Johansson, T., Goldemberg, J. (2002). Energy for sustainable development. A policy agenda. *United Nations Development Programme.*
- Krueger, R. (1991). El grupo de discusión. Guía Práctica para la investigación aplicada. *Pirámide.*
- Leach, M., Scoones, I. (2006). The slow race. Making technology work for the poor. *Demos, London.*
- Leal, P., Opp, R. (1998). Participation and Development in the Age of Globalization. *Development Express.*
- Leary, J., While, A., Howell, R. (2012). Locally manufactured wind power technology for sustainable rural electrification. *Energy Policy 43, 173-183.*

- Lhendup, T. (2008). Rural electrification in Bhutan and a methodology for evaluation of distributed generation system as an alternative option for rural electrification. *Energy for Sustainable Development*, 12:13–24.
- Mainali, B., Silveira, S. (2013). Alternative pathways for providing access to electricity in developing countries. *Renewable Energy* 57, 299–310.
- Mainali, B., Pachauri, S., Rao, N.D., Silveira, S. (2014). Assessing rural energy sustainability in developing countries. *Energy for Sustainable Development* 19, 15–28.
- Meadows, D., Meadows, D.L., Randers, J. (1972). The limit of growth: a report to the Club of Rome. *New York: Universe Books*.
- Merriam, S. (1988). Case Study research in education. A Qualitative Approach. *The Jossey-Bass social & behavioral science series, San Francisco*.
- Midilli, A., Dincer, I., Ay, M. (2006). Green energy strategies for sustainable development. *Energy Policy* 34, 3623–3633.
- Morgan, D. (1996). Focus Groups. *Annual Review of Sociology*, vol. 22, pp. 129-152.
- Nguyen, K. (2007). Alternatives to grid extension for rural electrification: Decentralized renewable energy technologies in Vietnam. *Energy Policy*, 35:2579–2589.
- Palit, D. (2013). Solar energy programs for rural electrification: Experiences and lessons from South Asia. *Energy for Sustainable Development* 17, 270–279.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2001). Informe sobre Desarrollo Humano 2001. Poner el adelanto tecnológico al servicio del desarrollo humano.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2013). Informe sobre Desarrollo Humano Perú 2013. Cambio climático y territorio: Desafíos y respuestas para un futuro sostenible.
- Robb, C. (2004). Changing power relations in the history of aid. *En: Groves, L.; Hinton, R. (eds.). Inclusive aid. Changing power and relationship in international development. London: Earthscan*.
- Robeyns, I. (2000). Un Unworkable Idea or a Promising Alternative? Sen’s Capability Approach Re-Examined. *Discussion Paper No. 00.30. Leuven: Katholieke Universiteit*.
- Robeyns, I. (2003). Sen’s Capability Approach and Gender Inequality: Selecting Relevant Capabilities. *Feminist Economist* 9(2–3), 61–92.
- Robeyns, I. (2005). The capability approach: a theoretical survey. *The Journal of Human Development*, 6:93–117.
- Robeyns, I. (2008). Sen’s Capability Approach and Feminist Concerns. *In Comim, M. Qizilbash, & S. Alkire (ed.) The Capability Approach. Concepts, Measures and Applications (pp. 82–104). Cambridge: Cambridge University Press*.
- Sánchez, T., Williams, A. and Smith, N. (2006). The critical factors for success of stand-alone energy schemes. *International Conference on Renewable Energy for Developing Countries*.

- Schensul, S., Schensul, J., LeCompte, M. (1999). Essential ethnographic methods: Observations, interviews, and questionnaires (Book 2 en Ethnographer's Toolkit). *Walnut Creek, CA: AltaMira Press.*
- Schmuck, R. (1997). Practical action research for change. *Arlington Heights, IL: IRI/Skylight Training and Publishing.*
- Schumacher, E.F. (1973). Small is beautiful. Economics as if people mattered. *Harper and Row, New York.*
- Sen, A. (1985). Well-being, agency and freedom: The Dewey lectures 1984. *The Journal of Philosophy*, 82:169–221.
- Sen, A. (1999). Development as Freedom. *New York: Oxford University Press.*
- Shiva, V. (2009). The seed and the spinnig wheel: The UNDP as biotech salesman. *Disponibile en: <http://www.poptel.org.uk/panap/latest/seedwheel.htm>.*
- Shyu, C. (2013). End-users' experiences with electricity supply from stand-alone mini-grid solar PV power stations in rural areas of western China. *Energy for Sustainable Development* 17, 391–400.
- Spalding-Fecher, R., Winkler, H., Mwakasonda, S. (2005). Energy and the World Summit on Sustainable Development: what next? *Energy Policy* 33, 99–112.
- Stake, R. (1994). Case studies. *En Handbook of Qualitative Research, Thousand Oakes, Sage Publications, pp. 236-245.*
- Streeten, P. (1981). First things first. Meeting basic human needs in developing countries. Oxford University Press, London.
- Taori, K. (1998). People's Participation in Sustainable Human Development: A Unified Search. *Concept Publishing Company.*
- Taylor, S.J., Bogdan, R. (1996). Introducción a los métodos cualitativos de investigación. *Paidós, Barcelona.*
- ul Haq, M. (1995). Reflections on Human Development. *Oxford University Press.*
- Unceta, K. (1996). El hambre como fracaso del desarrollo. *En: Incendio frío. Icaria, Barcelona.*
- Unceta, K., Yoldi, P. (2000). La cooperación al desarrollo: surgimiento y evolución histórica. *Gobierno Vasco, Bilbao.*
- Vera, I. and Langlois, L. (2007). Energy indicators for sustainable development. *Energy* 32, 875–882.
- Villavicencio, A. (2002). Sustainable Energy Development: The Case of Photovoltaic Home Systems. *UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, Riso National Laboratory, Roskilde, DK.*
- Yadoo, A. and Cruickshank, H. (2010). The value of cooperatives in rural electrification. *Energy Policy* 38, 2941–2947.

Yadoo, A. and Cruickshank, H. (2012). The role for low carbon electrification technologies in poverty reduction and climate change strategies: A focus on renewable energy mini-grids with case studies in Nepal, Peru and Kenya. *Energy Policy*, 42:591–602.

Yin, R. (1994). Case Study Research. Design and Methods. *Applied Social Research Methods Series*, vol. 5, Thousand Oaks, Sage Publications.

Zhang, X., Kumar, A. (2011). Evaluating renewable energy-based rural electrification program in western China: Emerging problems and possible scenarios. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 773–779.

2. Publicaciones

2.1 A community electrification project: Combination of microgrids and household systems fed by wind, PV or micro-hydro energies according to micro-scale resource evaluation and social constraints

2.1.1 Introduction

Early in the twenty first century, an estimated 1.3 billion people do not have access to electricity (IEA, 2013), especially in rural areas of developing countries (Kanagawa and Nakata, 2008). The contribution of energy, and particularly electricity, in meeting the Millennium Development Goals of the United Nations Development Program has been widely demonstrated (DFID, 2002). Among other benefits, access to electricity helps to reduce eyesight and lung illnesses (caused by smoke from kerosene lamps and candles), extends the daily productive hours, allowing children to study in the evenings and get a better education through the use of new technologies at schools, increases access to means of communication and improves health centers through the use of some medical devices or vaccine refrigeration.

The conventional strategy for increasing access to electricity is to extend the national electric grid (Tenenbaum et al., 2014). However, due to the extensive and complex geography in many rural areas of developing countries as well as the dispersed nature of the existing villages, extending the national electric grid to reach all the rural households would be economically prohibitive (Wamukonya and Davis, 2001; Ferrer-Martí et al., 2012). In contrast, electrification systems based on the use of renewable energies are suitable for providing decentralized electricity to isolated communities around the world (Chaurey et al., 2004). These stand-alone systems are often cheaper than grid extension and use local resources, avoiding external dependence, which in turn promotes the long-term sustainability of projects (Akorede et al., 2010).

Among the available renewable technologies micro-hydro, photovoltaic (PV) and wind are the most widespread (Rolland and Glania, 2011). Usually, where a water resource is available, micro-hydro is the best option since it provides a continuous energy supply at a low cost per kilowatt hour (Coello et al., 2006). When this resource is sufficient, micro-hydro energy has been used successfully without combining with other technologies (Yadoo and Cruickshank, 2012). Alternatively, PV systems are usually chosen, although they are a more expensive option, and have been increasingly used in recent decades as individual systems (Zahedi, 2006). For example, Nieuwenhout et al. (2001) analyze many PV projects in countries in Africa, Asia and Latin America, determining the advantages and limitations according to the context. Recently, wind power has been gaining attention (Coello et al., 2006). In windy regions, wind systems can be cheaper than PV ones, for the same energy output. Moreover, wind turbines (WT) can be locally manufactured, helping the systems' maintenance (Leary et al., 2012). In most projects a turbine is installed at each consumption point without considering the details of the wind resource. Some examples can be found in Mongolia, Nicaragua and Peru (Leary et al., 2012).

Hybrid systems that combine an adequate proportion of each local resource and provide more security of supply are one of the most recommended options (Amador and Dominguez, 2005; Rolland and Glania, 2011) since each technology complements the other (Zhou et al., 2010). In

particular hybrid systems that use PV and wind generators are being increasingly used (Deshmukh and Deshmukh, 2008). For example, Giatrakos et al. (2009) study a hybrid PV-wind system for a Greek island. Saheb-Koussa et al. (2009) study the best option of PV-wind systems for Algerian areas, according to climatic conditions and the topography. El-Shatter et al. (2006) design the size and management of a PV-wind system for a village in Egypt. Finally Nema et al. (2009) review several studies focusing on the design, operation and control of PV-wind systems for remote areas. To a lesser degree, some projects consider a combination of micro-hydro, PV and wind technologies. For example, Bakos (2002) studies the feasibility of a wind-hydraulic system for a farm on an island in Greece. Kenfack et al. (2009) design the size of a system combining micro-hydro and solar technologies. Bekele and Tadesse (2012) also incorporate the wind technology for sizing systems in areas with limited hydraulic potential. Dorji et al. (2012) combine micro-hydro, PV and wind systems in Bhutan. Lastly Kumar Lal et al. (2011) show how designed systems are primarily fed by micro-hydro, PV or wind technologies depending on the time of the year. Other works propose selecting the most appropriate scenario from a set of predefined scenarios. In this sense, multicriteria decision-making aid tools have been widely used for energy planning (Pohekar and Ramachandran, 2004; Zhou et al., 2006). For example, Cavallaro and Ciraolo (2005) choose the best emplacement for WT in an Italian island considering techno-economic and environmental criteria. In contrast, the study at a local scale seems to be forgotten (Loken, 2007). One of the few researches in this research line is Henao et al. (2012) which develops the SURE tool, which studies different electrification technologies choosing the best one according to physical, financial, natural, social and human criteria.

The reviewed works do not analyze the details of the appropriate technology for each part of the community using different design and decision techniques, nor designing the electric distribution configuration (combining individual systems and microgrids) to adapt the system to the population's characteristics. However, this is currently a subject under discussion among experts worldwide (Tenenbaum et al., 2014). This paper presents the study of the design of a Peruvian rural community, overcoming the mentioned limitations.

In this context, Alto Peru's project (Peru) was part of a bigger development program aiming to give access to electricity to rural communities not only installing the individual PV systems typically used in the area but also using other options as wind turbines and microgrids, which had proven advantageous in some cases. When the community of Alto Peru was studied, the objective was to use the most appropriate electrification option at each zone. As result, a combination of micro-hydro, PV and wind energies as well as microgrids and individual systems for the electricity distribution was obtained. The main novelty of this project is that instead of using a single technology for all the population, different options were installed at each part of the community, according to the demand, the location of the consumption points and the available resources, what ended up being a pilot project for the combination of technologies in the same community. The operation and maintenance of the systems, which has proven to be a key issue for ensuring project sustainability (Rolland and Glania, 2011; Frearson and Tuckwell, 2013), was realized in conjunction with a community management model specially conceived for Alto Peru, based on the population's characteristics. Besides, the budget was limited during all the electrification process and many decisions were taken accordingly.

The community was composed of 65 consumption points, and their electrification was carried out between July 2009 and November 2010, in four stages: two wind microgrids for 13 households and

the church; a micro-hydro power plant for the school and 4 households; a solar microgrid for the health center, the 2 restaurants and 2 households; and individual solar systems for the remaining 39 households and the 2 shops (Fig. 1). This paper aims to describe the real technical design process and how a particular solution was designed for each area of the community. At the end a technical evaluation of the systems' performance is performed.

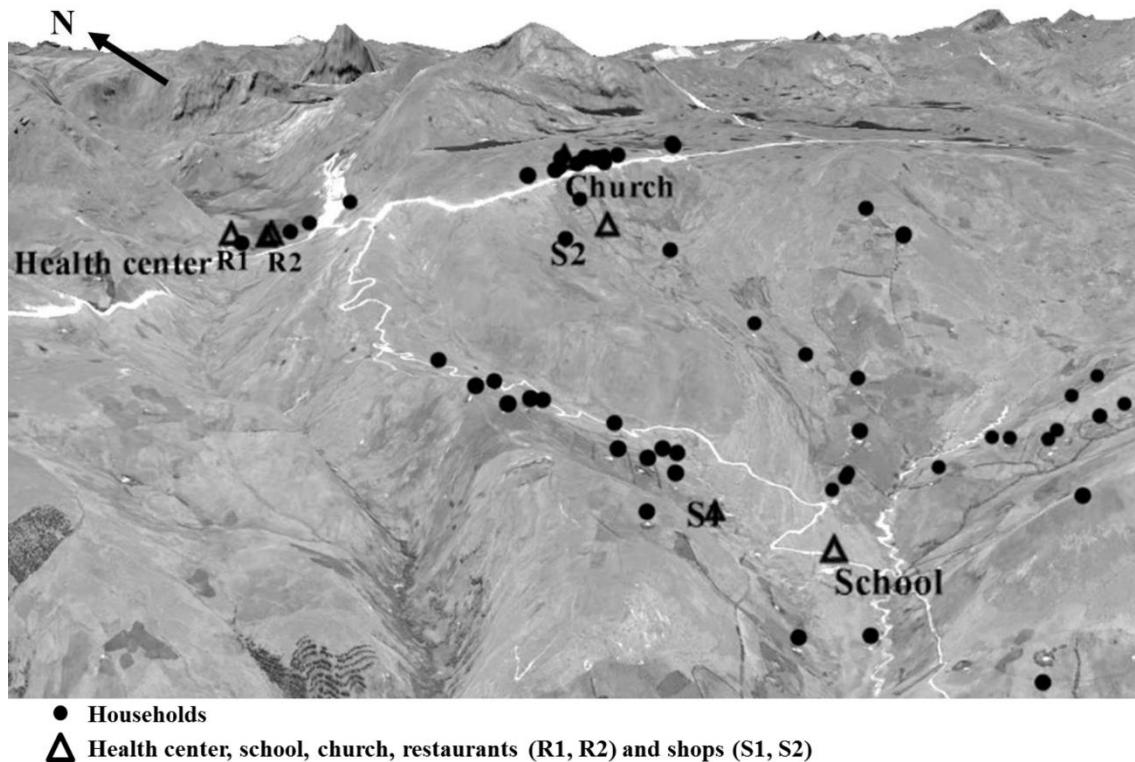


Fig. 1 - Location of the consumption points in the community of Alto Peru

The rest of the paper is organized as follows: Section 2 introduces the community of Alto Peru. The resource assessments are presented in Section 3. The technical description is detailed in Section 4. Section 5 presents the design of the whole electrification project. Section 6 evaluates the performance of the system. Finally, Section 7 summarizes the main conclusions.

2.1.2 The community of Alto Peru

In Peru around 6.5 million people do not have access to electricity, mostly in rural areas (MINEM, 2008). In this context, the NGOs Practical Action (PA), Peru, Engineering Without Borders (ESF), Spain, and Green Empowerment (GE), USA, with the support of the Research Group on Cooperation and Human Development of the Universitat Politècnica de Catalunya (GRECDH-UPC), Spain, developed the “Program for Rural Electrification and Access to Renewable Energies in the Andean Zone” from 2007 to 2011. The aim was to promote access to electricity in the region of Cajamarca, located in the north of the Peruvian Andean highlands and one of the poorest areas in the country, with almost one million people living under the national poverty line, and having the lowest electrification rate: 40.2 % (INEI, 2007).

This work focuses on the electrification system of the community of Alto Peru. In May 2009, a socioeconomic diagnosis was performed to study the characteristics of the population (Ramirez

and Mantilla, 2009). The tools used to collect information included socioeconomic surveys of each family, and interviews and focus groups with the local authorities, the local organizations and the representative residents. The main conclusions of the diagnosis are presented below: first the socioeconomic analysis is summarized and then the demand assessment is carried out.

2.1.2.1 Socioeconomic analysis

Alto Peru is located between 3500 and 4000 meters above sea level (Fig. 2.a). The weather is cold, with temperatures barely exceeding 10 °C. The rainy season goes from December to May, while the dry season goes from June to November and is accompanied by higher wind and solar resources. The topography is characterized by narrow valleys, large undulating areas and gorges, and combines natural grass with rocky outcrops. The consumption points are spread over a wide land extension. Some of them are located in flatter areas while the others are situated in higher zones.

Initially 94 consumption points were identified, with a total population of 345 inhabitants. One of the first tasks was to determine the real target points to electrify. Sometimes, some families did not want the electricity. Besides, a common case among the population was the “mitayos”: tenants of a property who work and take care of the land in exchange for a tribute. In these cases the owner could not guarantee that somebody was going to live there permanently and, therefore, the maintenance of the electric installations at the households was not ensured. Thus, the electrification of these points was discussed by the community. Finally it was decided that only the owners who promised to take care of the maintenance of the systems throughout the lifecycle of the project would be included in it. Additionally, the electrification of the health center was discussed. Alto Peru’s population was catered for by a health center administratively belonging to the neighboring community of Quebrada Honda. After the appropriate negotiations concluded, it was decided to go ahead with its electrification. Finally 58 households, 2 shops, 2 restaurants, 1 health center, 1 school and 1 church, spread over 20 km², were considered.

Family incomes mainly came from cattle rearing for milk sales and employment by the mining companies working in the surrounding area. Agriculture and animal rearing was mostly destined for self-consumption. The 2 restaurants lived off workers from the mining companies and the 2 shops supplied the community with essential items. Finally, there was a notable lack or scarcity of services such as safe drinking water, storm drains and electricity.

Since the households of the community were widely dispersed over a large area, the community administration was separated into two parts in 2008, the High and the Low Parts, aiming to facilitate the organization of the population. The High Part (rectangle in Fig. 2) was composed of 25 households, the church, the health center, the 2 restaurants and 1 shop, and was characterized by a higher concentration of the points and a higher wind potential. Meanwhile, the Low Part (outside the rectangle in Fig. 2) was composed of 33 households, the school and 1 shop, and presented less concentration of the points and a lower wind potential. At a social level, the relationship between the leaders from both parts was bad, caused by disagreements during the preparation of community activities in the past. Thus hypothetical coordination between them (in the case of a common electrification system) could be difficult. Besides, while in the High Part there was a good relationship among inhabitants, in the Low Part bad delimitations of the land and badly shared legacies had led to conflicts between families.

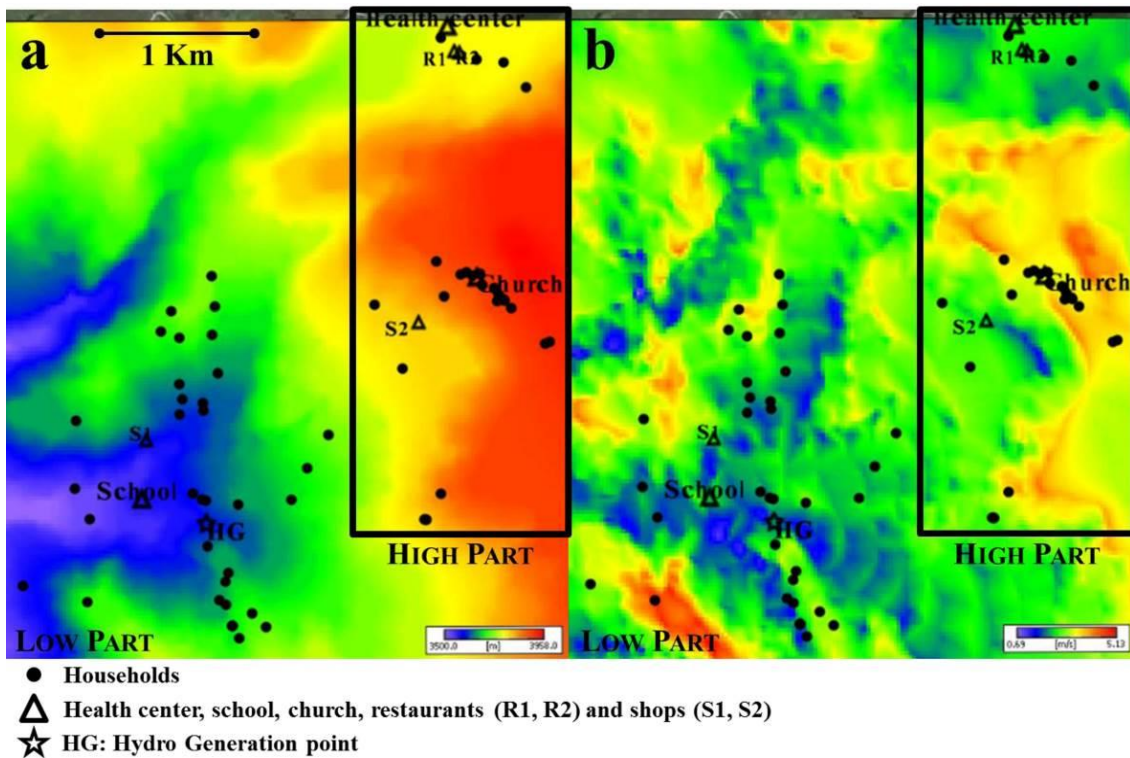


Fig. 2 - Elevation (a) and wind (b) maps of the community of Alto Peru

2.1.2.2 Demand assessment

The demand of the consumption points is a key issue when designing an electrification system. A demand overestimation can unnecessarily raise the project cost while a demand underestimation can renege on users' expectations (Frearson and Tuckwell, 2013). In both cases the project will probably fail shortly after its implementation. For that reason an accurate daily demand assessment was carried out. In particular the consumption habits of the population, future demand increases and existing generation systems were examined. During this process, the end-users involvement was sought in order to ensure that the established demand value responds to their real needs. Thus, an approximation of the electrical appliances used by the population and their daily utilization could be established, leading to the finally determined demand values.

In order to determine the demand of each considered point, the consumption habits were analyzed (Ramirez and Mantilla, 2009). As in most Andean communities, wood (77 %) and propane gas (23 %) were the most-used resources for cooking. In contrast, candles (97 %) and gas lamps (3 %) were utilized for night lighting. From the entire population, 67 % used radio receivers and flashlights powered by dry batteries, 7 % had small electric generators to charge cell phones and use some electric appliances (mainly TV or DVD), and 3 % used batteries for the same purpose.

To complete the analysis, future hypothetical consumption with the introduction of electricity was studied (Ramirez and Mantilla, 2009). On the one hand, children expected to extend their available hours for studying, while women expected to work on handicrafts with nighttime lighting. On the other hand, a small group of inhabitants showed interest in developing activities requiring a particular amount of electricity: installing a photocopier, a furniture shop, a local textile industry needing electric sewing machines and a local dairy product factory.

The health center had a PV panel installed a few years ago (broken due to the lack of maintenance). The church and the school had their own electric generators, which were very rarely used due to the high fuel cost. Additionally some households had their own PV panels to charge batteries or for domestic lighting, but many technical problems were identified (wrong electrical connections, high voltage drops, etc.) and most equipment/facilities were unusable.

Hence, the demand was determined by considering the previous information and some consumption increases throughout the project lifetime. Due to the project budget, the type of appliances with high power consumption that could be used was limited (for example, big fridges could not be utilized). For the other electric needs, the main electrical appliances that will be utilized were determined and their power consumption (gathered from a market study) were listed. The power demand of each type of end-user was then calculated adding the power consumption of the appliances and considering a simultaneity factor (since not all the appliances will be used together). The energy demand was assessed considering the expected daily usage and the power consumption of each appliance. Finally, the autonomy demand was estimated considering the variability of resources (see Section 3) and the influence of electrical interruptions on the activities carried out by the end-users. Thus, the next demand values were obtained:

- For the households, the church, the restaurants and the shops, energy of around 280 Wh/day, power of around 200 W and an autonomy of 2 days.
- For the health center 975 Wh/day of energy, 600 W of power and 2 days of autonomy.
- For the school 975 Wh/day of energy, 1000 W of power and 2 days of autonomy.

It is worth to highlight that the project considered and promoted the use of energy efficient technologies, such as low consumption bulbs that were installed at each point. Moreover users were trained and encouraged to buy and use efficient appliances as well as to avoid unnecessary electrical consumptions.

2.1.3 Resource evaluation

This section details the analysis of the wind, solar and hydraulic resources. In the three cases a conservative study was done in order to ensure meeting the demand under the worst assumptions (the lowest resource month). Thus, the demand will also be met the rest of the year.

2.1.3.1 Wind resource

A wind resource atlas of the country prepared in 2008 (Meteosim, 2008) showed that Cajamarca is one of the areas with the highest wind potential in Peru. In the first visits to Alto Peru a good wind potential was noted. In order to measure the wind direction and speed, an anemometer was installed near the church on a 10m high tower, specifically in the highest zone of the community, in flat terrain and with no obstacles, to ensure good quality measurements (Ranaboldo et al., 2014). Measures were taken every 10 minutes for more than one year and, thus, the lowest wind resource month (March) was identified; if the system meets the demand at this month it will also cover the rest of the year. Next, using specialized software and the contour map of the region, data was extrapolated from the anemometer for the surrounding area (Ranaboldo et al., 2014). With this information and the power curves of the WT (wind turbines), the energy produced at each consumption point by each type of WT was calculated. Fig. 2.b shows the wind map for

Alto Peru. When comparing Figs. 2.a (elevation map) and 2.b (wind map), a high wind resource can be observed in highlands and a much more limited resource in lowlands.

2.1.3.2 Hydraulic resource

In the surroundings of the community there are almost 280 lakes, the largest one having an area of 11 km². This hydrological natural reserve supplies Alto Peru and the neighboring communities. In particular, water from the largest lake was used to irrigate pastures in the Low Part of the community. The only water resource allowing electricity generation was identified 500m from the school. To assess the water resource at this point, the water flow in the driest month (August) and the waterfall height were measured. Ensuring that demand is met in the driest month, and considering a security factor (due to hypothetical water flow reductions in the future), the demand will also be met in the rest of the year. Thus a water flow of 14 l/s and a height of 31.73 m were determined in order to implement a hypothetical micro-hydro power plant. The entire micro-hydro power plant was designed to ensure both values throughout the entire year.

2.1.3.3 Solar resource

The solar resource was assumed to be uniform in all the community (Gueymard and Wilcox, 2011). This resource was estimated through the Peak Solar Hours (PSH), which is defined as the time, in hours per day, of a hypothetical constant irradiance of 1000 W/m². The temperature also has an influence on the panels' efficiency. In order to carry out a conservative analysis, the PSH and the temperature data were gathered for each month of the year. The NASA climate database offers both data from 1983 until 2005 (NASA, 2012). Therefore the monthly mean energy generated by a PV panel was calculated and the lowest potential month (February) was identified. In Alto Peru a PSH of 4.61 (i.e. 4.61 hours of sun per day at 1 kW/m²) and a temperature of 7.99 °C were determined for this month.

2.1.4 Technical assessment

The scheme of a stand-alone rural electrification system based on wind-PV-micro-hydro energies and with electricity distribution through microgrids or individual systems is shown in Fig. 3. The electricity is generated by WT, PV panels and/or micro-hydro power plants. At a same generation point for a single technology (in which case there will only be the corresponding branch in Fig. 3), two or the three technologies can be implemented. Moreover a controller is needed: for the wind technology to transform AC into DC and protect batteries from overcharges and deep discharges; for the PV technology to protect batteries from overcharges and deep discharges; to transform the 18V generated current to 12V current; and also for the micro-hydro technology to adjust the generation to the consumption. The electricity is then stored in batteries, which must have enough capacity to meet the demand during several days without generation. Batteries are only needed for wind and PV technologies due to their resources' variability. Finally, inverters transform DC (12V) power from batteries into AC (220V), which is more suitable for most electrical appliances.

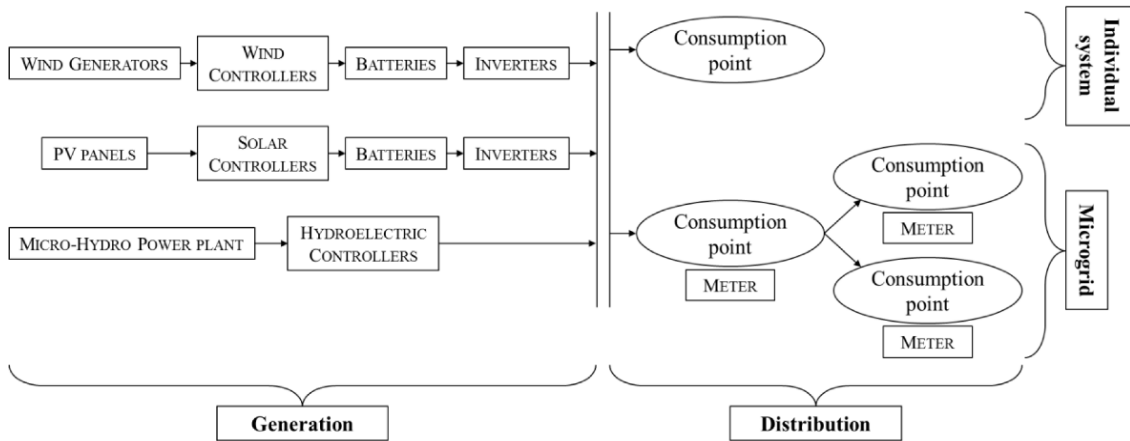


Fig. 3 – Scheme of a micro-hydro-PV-wind electrification system with distribution through a microgrid

Electricity is then distributed to the consumption points. This distribution can be done through individual systems (a generation point supplies one consumption point) or through microgrids (a generation point supplies more than one consumption point). Microgrids have a radial scheme (form of a tree, as in Fig. 3), usually used in rural areas of developing countries (Lambert and Hittle, 2000). Finally, the points fed by a microgrid usually have a meter to control their consumption.

A market study was carried out in order to identify the equipment available in the region of the community and to determine their mainly technical and economical characteristics:

- Wind turbines (4 types). Maximum power: 300, 1200, 1750 and 3500 W. Cost: \$974, \$2737, \$4105 and \$5131; including the support tower.
- Wind controllers (4 types). Maximum power: 420, 1440, 1800 and 3600 W. Cost: \$165, \$285, \$342 and \$513.
- Solar panels (4 types). Maximum power: 50, 75, 95 and 150 W. Cost: \$451, \$636, \$821 and \$1000; including the support structure.
- Solar controllers (4 types). Maximum power: 50, 75, 95 and 200 W. Cost: \$67, \$81, \$95 and \$125.
- Micro-hydro power plant (4 types). Power: 2000 W. Type of turbine: Michell-Banki, Pelton, Turgo and Francis. Cost: \$2600, \$3000, \$3800 and \$4600.
- Micro-hydro controller. Maximum power: 2000 W.
- Batteries (4 types). Capacity: 1500, 1800, 2400 and 3000 Wh. Cost: \$225, \$246, \$292 and \$325. Efficiency: 85%. Discharge factor: 50 %. The same efficiency and discharge factor were considered for all the types of batteries.
- Inverters (4 types). Maximum power: 300, 1200, 2000 and 3000 W. Cost: \$377, \$1200, \$1800 and \$2300. Efficiency: 85 %. The same efficiency was considered for all the types of inverters.
- Meters (1 type). Cost: \$50.

- Wires (3 types). Resistance: 2.71, 2.15 and 1.71 Ω /km. Cost: \$4.9, \$5.1 and \$5.25 /m. Efficiency: 90 %.

2.1.5 Project design

In most stand-alone rural communities standardized electrification solutions are usually implemented without studying in detail if the solution is suitable to the socioeconomic aspects of the beneficiaries. However, in general, and more specifically in Alto Peru, these standardized solutions would not have been appropriate:

- The 65 consumption points of the community to be electrified were spread over a large region with a great variability of resources. Consequently the use of only one technology to cover all the community, as usually happens, would not have been the most appropriate option. In contrast the adequate technology according to the available energy resources of each area was more efficient: in the presence of a waterfall, micro-hydro energy; wind energy in highlands and in lowlands sheltered from the wind, solar energy.
- Scattering among consumption points was very variable: there was high concentration in some zones and high dispersion in others. Moreover the administrative organization of the population was complex: political divisions between parts, social conflicts between families; turning a hypothetical common organization into a real challenge. Therefore the electrification system required combining microgrids and individual systems, in order to extend as much as possible the social benefits of microgrids while adapting the electricity distribution to the socioeconomic specifications of the population.

Consequently, the project was carried out in four stages:

- Stage 1, wind microgrids (Fig. 4). In July 2009 four 1200 W WT were installed to supply 13 households and the church through two microgrids of 8 and 6 users.
- Stage 2, micro-hydro power plant (Fig. 4). In August 2010 a 2000 W hydroelectric power plant was installed to supply the school and 4 households.
- Stage 3, PV microgrid (Fig. 4). In October 2010 eight 95 W PV panels were installed to supply the health center, the 2 restaurants and 2 households through a single microgrid.
- Stage 4, individual PV systems (Fig. 4, points not included in Stages 1, 2 or 3). In November 2010 forty-one 95 W PV panels were installed to supply the remaining 39 households and the 2 shops, through individual systems.

Table 1 summarizes the consumption points electrified at each stage and Fig. 4 shows their location in the wind map. Next, the technical design of each stage is described in detail.

Table 1 - Consumption points electrified at each stage

	Technology	Beneficiaries		
		Households	Institutions	Total
Stage 1	Wind microgrids	13	1 (church)	14
Stage 2	Micro-hydro power plant	4	1 (school)	5

Stage 3	PV microgrid	2	1 (health center) 2 (restaurants)	5
Stage 4	Individual PV systems	39	2 (shops)	41
Total		58	7	65

2.1.5.1 Stage 1 – Wind microgrids

To our knowledge Alto Peru was one of the first stand-alone rural electrification projects in Peru utilizing wind energy. At the beginning of the design process a very high wind potential area was identified in the community. As shown in Fig. 2.b, at the High Part there is a group of points, placed in a yellow-to-red zone, with high average wind speeds. Thus, the NGOs PA, ESF and GE decided to use wind energy in this area what ended up being a wind pilot electrification project in Peru. Therefore, the study of the community firstly focused on this region composed of 24 households, a shop (S2) and the church.

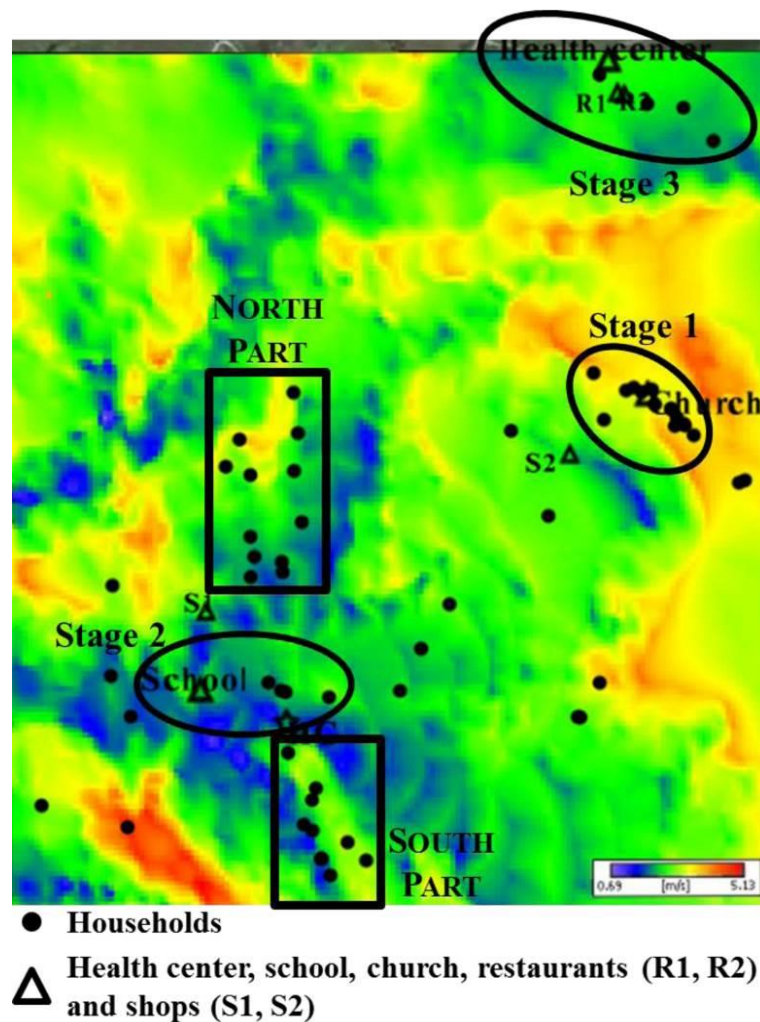


Fig. 4 - Consumption points electrified at each stage

To design the electrification system, a mathematical model minimizing the initial investment cost and considering the wind technology, the detail of the energy and power demands, and technical constraints related to the equipment was used (Ferrer-Martí et al., 2011). As a result, the model

obtains the location and size of all the equipment, combining individual systems and microgrids. The solution for this study was: two main microgrids (8 and 6 users) in the main group of consumption points, and smaller microgrids (between 2 and 3 users) in the remaining points (Ferrer-Martí et al., 2013).

The promoters of the electrification project decided to start with the 14 consumption points of the two main microgrids, which are placed in one of the highest wind potential areas (Fig. 4) and near the access road to the community, making the transport of material easier and cheaper. For these 14 points (13 households and the church) a two-stage detailed analysis of the electrification system was realized. First several electrification options were generated (each one suitable to specific socioeconomic aspects of the population) and then the most appropriate option was selected. Meanwhile, it was decided to study the electrification of the remaining 12 consumption points afterwards, in Stage 4.

Generation of electrification options

The considerations taken into account for generating the electrification options were extracted from interviews with the stakeholders involved in the project, which occurred in several meetings during the design process. In particular the political institutions (in charge of the systems management once the project had been implemented), some sociologists from PA and GE (who carried out the socioeconomic analysis), some technicians from PA and ESF (with ample experience in rural electrification projects) and the population itself participated. Thus a wide range of points of view were represented. The aim was to identify the features that could influence the appropriateness of the design and should therefore be studied. Specifically, participants were asked about aspects such as the electrical needs of the population, the land available for installing the equipment and the availability of equipment. The following aspects were finally considered (Domenech et al., 2012):

- Energy, power and autonomy demand scenarios. Due to discontinuities and economies of scale in the equipment, small changes in the demand can lead to big changes in the cost or the energy supplied. Consequently, two demand scenarios were studied. The low scenario (energy and power demands determined in Section 2) covers basic lighting and communications consumption. The high scenario (50 % more demand in relation to the low scenario) allows, in addition, development of small productive activities and/or enjoyment of some domestic comforts. No variations for the autonomy demand were analyzed.
- Impose a space limitation vs. never impose it. Available space around the consumption points (where generators can be installed) is generally limited since it is required for livestock or agriculture. Therefore a maximum of 2 generators can be installed at the same point, which could be important in order to avoid excessive land occupation.
- Considering the two smaller types of WT vs. considering all four types of WT (Section 4). In Peru and specifically in the region of Cajamarca, a great effort has been made in recent years to promote the development of local micro-wind technology. Therefore, considering the use of only the two smaller types of WT (which are locally manufactured) reinforces this local technology, indirectly helping to create local jobs. In contrast, considering all four types of WT, i.e. combining the two smaller types with the two bigger ones (which need to be imported) can allow costs to be reduced due to the lower ratio of cost / energy generated by the bigger types (because of the economies of scale). Additionally, the use of the two smaller types of wind turbines instead of all four types, can lead to solutions utilizing less powerful

but more numerous wind turbines at each generation point, so the security of supply is improved since if one fails at least another one will still supply part of the electricity.

Using the design tool described previously (Ferrer-Martí et al., 2011) eight electrification options were generated as a result of combining the two demand scenarios, the imposition (or not) of a space limitation and the use of the two smaller types of WT or the four types of WT. Moreover two additional options were generated, installing individual wind systems at each consumption point, for the two demand scenarios. Table 2 shows the details of the electrification solutions in four rows: the number of each of the four WT types, the cost of the solutions, the number of microgrids and their size (amount of users) and the number of individual users.

Table 2 - Main characteristics of the electrification options generated in Stage 1

	Low scenario (280 Wh/day; 200 W)					High scenario (420 Wh/day; 300 W)				
	Indiv.	No space limit		Space limit		Indiv.	No space limit		Space limit	
		2 WT	4 WT	2 WT	4 WT		2 WT	4 WT	2 WT	4 WT
Number wind turbines 300,1200,1750,3500 W	22,0,0,0	2,3,0,0	0,0,0,1	0,4,0,0	0,0,0,1	26,1,0,0	1,5,0,0	0,1,0,1	0,6,0,0	0,1,0,1
Cost [\$]	33420	20238	15008	21836	15008	41417	27772	20753	31435	20753
N° microgrids (users)	0	1(13)	1(14)	1(8);1(6)	1(14)	0	1(14)	1(14)	2(5);1(4)	1(14)
Individual users	14	1	0	0	0	14	0	0	0	0

Table 2 shows how the use of microgrids allowed a significant reduction in the solutions cost, which could be more or less emphasized depending on whether other considerations were included or not. Additionally, the use of the four types of WT reduced the cost when compared to the use of only the two smaller types. Indeed, due to the economies of scale, the more powerful the equipment, the lower the cost per unit of energy generated. So, for the low demand scenario, cost diminished between 45.5 % and 34.8 %, and for the high demand scenario between 51.5 % and 33.8 %, depending on whether the space limitation was included or not. In contrast, only using the two smaller types of wind turbines improves the project's security of supply, since between 4 and 6 small wind turbines are installed instead of 1 or 2 bigger ones. Finally, limiting the number of WT that can be installed at any one point had an influence only when using the two small WT. The cost increased slightly and more but smaller microgrids were installed.

Selection of the most appropriate electrification option

To complete the design of the system, results were presented to a group of technical and social experts from the NGOs PA and ESF. They all knew the community in detail, so they could compare the advantages and limitations of each electrification option, considering the social details of the population. They firstly emphasized that solutions with microgrids were cheaper and could promote community organization, being very positive for future development projects (sanitation, drinking water, etc.). Secondly they concluded that the higher cost when increasing the demand from the low to the high scenario was not compensated by the benefits of the additional amount of energy. Finally they proposed using only the two smaller types of WT, to promote the local wind technology and because this option improved the security of supply, although the cost of these solutions was slightly more expensive. So, two microgrids of 8 and 6 users were implemented, each one supplied by two 1200 W WT, with a total cost of \$21836.

2.1.5.2 Stage 2 – Micro-hydro power plant

When Stage 1 ended, the project stopped around a year due to budget limitations. When the activities started again, the study focused firstly on the school because the population showed a great interest in providing access to the new technologies for the children. For this purpose a waterfall was identified in the resource assessment (Subsection 3.2). The use of the hydroelectric technology is a very suitable option, since it has a continuous resource, improving the security of supply in front of the wind and PV alternatives, at an affordable cost (Yadoo and Cruickshank, 2012). In order to implement a micro-hydro power plant, an agreement with the land's owner was reached, establishing the irrigation periods and the electricity generation periods throughout the day. The aim was to ensure that the electricity supply during school hours did not affect the owner's use of water for agriculture, and vice versa. Thus, considering the water flow and the waterfall height from Subsection 3.2, the power generated by the micro-hydro power plant was calculated, which resulted in 2000 W, taking into account an efficiency of around 50 % when transforming from potential energy into electrical energy (Coello et al., 2006). The micro-hydro power plant was initially conceived to supply electricity to the school exclusively. However the school power demand was less than the micro-hydro power plant capacity, so the remaining power was used to electrify some households by extending a microgrid as much as possible and, consequently, the benefits of this continuous technology. Taking into account the power demand of the households and a safety margin, the nearest four households were electrified. Finally, it was decided to install a 2000 W Michell-Banki turbine because, as well as being the cheapest among the available turbines, its simplicity allowed on site repairs in case of breakdown, while other types of turbines such as Pelton or Francis, are technically more complex and usually require specialized technicians for their repairs. Additionally, a 2000 W hydraulic controller was installed. The total cost of the micro-hydro power plant was \$13341.

2.1.5.3 Stage 3 – Solar microgrid

The next stage focused on the health center, whose electrification was essential for giving access to a better health service: nighttime lighting for urgent operations, a fridge for refrigerating the vaccines, etc. Additionally, the 2 restaurants and two households also located in the northernmost area of the community were included in this stage. In the area there were no waterfalls and the wind potential was very low (Fig. 4) and variable, not ensuring an adequate security of supply, so only the PV technology was considered, whose resource was much more uniform. Once the technology was chosen, the electricity distribution system was designed. As seen in Fig. 4, the five consumption points (the health center, the 2 restaurants and the 2 households) were very close to each other, so the possibility of electrifying them through a single microgrid was conceived. This configuration entails some social benefits, such as the possibility of occasionally increasing the consumption of one user, which could be very interesting for the health center in case of an emergency, or for the restaurants. Besides, as stated in Section 2, no social conflicts were identified between users in this area, so coordination between them did not pose any problem. In conclusion, all the users were electrified through a PV microgrid. To cover the demand eight 95 W PV panels were installed. The total cost for the solar microgrid was \$12699.

2.1.5.4 Stage 4 – Individual solar systems

When analyzing the remaining 41 consumption points, two clusters were identified and the promoters of the electrification project decided to focus on them first: the North Part and the South Part composed of 13 and 9 households, respectively (Fig. 4). In these 22 points, there was a bad relationship among families and a medium dispersion. Thus neither microgrids nor individual systems were clearly the appropriate electrification options and a combination of both options was studied. For this purpose a two-stage design process (as in Stage 1) was carried out: first several electrification options were generated and then the most appropriate was selected.

Generation of electrification options

The considerations taken into account for generating the electrification options were obtained from interviews with the stakeholders involved in the project (the political institutions, some sociologists, some technicians and the community itself). In this stage the studied aspects were different than in Stage 1, since the particular characteristics of this area were not the same (mainly bad relationships between users, medium dispersion of the consumption points and low wind potential). Particularly, participants were asked about features such as their technology preferences, the electrical needs of the population, the community organization regarding the electrification project and equipment failures. The following aspects were finally considered (Domenech et al., 2012):

- Wind technology vs. PV technologies. The options of generating electricity by only using wind turbines (as in Stage 1) or only using PV panels were examined. The wind technology can be cheaper for higher demand (microgrids) whereas the PV technology offers higher security of supply since the sun is more continuous than the wind in the area. The use of hybrid systems was not studied since their maintenance was considered a technical handicap for the population.
- Energy, power and autonomy demand scenarios. A low scenario (with the energy, power and autonomy demands determined in Section 2) was considered to cover the usual lighting and telecommunications consumption. A high scenario (20 % higher energy and power demand, and 50 % more autonomy demand than in the low scenario) was also evaluated.
- Meters only in microgrid users vs. meters at all the consumption points. On the one hand, the installation of meters only in microgrid users allows cost savings, but an electricity tariff according to consumption is established for microgrid points while a standard tariff is established for individual points. Therefore users with different consumption could pay the same tariff (or vice versa). On the other hand, the installation of meters at all the consumption points is a more expensive option, but allows a single tariff to be set according to the consumption of all the users.
- Individual electrification vs. microgrid electrification vs. combination of individuals and microgrids. On the one hand, given the benefits of microgrids as opposed to individual systems, the option of electrifying all the users through two microgrids (one for the North Part and one for the South Part) was examined. On the other hand, due to the existing social conflicts between families in the target area, the option of electrifying all the users through individual systems was considered. Moreover, the combination of both options was evaluated in order to determine the possible cost savings.
- Impose a minimum quantity of generation equipment vs. not imposing it. A minimum of 2 pieces of generation equipment at each generation point was studied in order to improve the security of supply, since if one generator fails at least another one will still supply part of the electricity. This constraint affects both the wind and the solar technologies.

For generating the electrification options, a mathematical model (Ferrer-Martí et al., 2013) was used, which allows the wind or the PV technologies to be considered in the design of the electrification systems. A total of 48 electrification options were generated (obtaining the electrification solutions and their respective costs) as a result of combining all the proposed variations.

Selection of the most appropriate electrification option

In Stage 1 only ten options were generated and could be presented to a group of experts to select the most appropriate. However in this stage 48 options were generated, so to ease the decision-making process, this number was reduced before presenting the results to the group of experts (Nijkamp et al., 1990). Moreover, the North Part and the South Part were characterized by many social conflicts and a medium dispersion of the consumption points, so the selection of the most appropriate electrification option involved a great amount of non-technical considerations. In this regard, the experience of the decision making from Stage 1 and the acquired knowledge on multicriteria decision-making processes were used to select a reduced set (5 options) among the 48 electrification options. The process was: first a group of evaluation criteria was defined, then the importance of each one was determined and finally each electrification option was evaluated in relation to each criterion (Wang et al., 2009). Thus an overall weighted score was calculated, options were classified accordingly and the 5 top-ranked were presented to the group of experts.

One of the main problems when evaluating rural electrification systems is to find a set of criteria that allow the options to be assessed from a wide range of viewpoints, both qualitatively and quantitatively. For this purpose, a meeting was held with a group of experts from the NGOs PA and ESF and the social and technical criteria were defined (Table 3). Next, the criteria were weighted by the experts (a value was associated to each one representing its importance regarding the others), basing their decisions on the characteristics of the community (Table 3). Then each electrification option was evaluated according to each criterion: following standardized indicators a value from 1 to 10 was associated to each option, representing how little or much it meets each criteria. Finally the weighted sum was calculated for each option and the options were classified accordingly. Table 4 shows the main characteristics of the 5 top-ranked options.

Table 3 - Evaluation criteria and their corresponding definitions and weights for the community of Alto Peru

	Criteria	Definition	Weight of the criteria
Social Criteria	Ease of management	Ease of managing the electrification system inside the families and among them.	3
	Equity	Equality in the amount of electricity supplied to each family.	7
	Economy	Economic effort of each family to pay the tariff for the electricity.	7
	Household benefits	Improvements in the quality of life of the families and their incomes.	5
	Community services	Electrification of the community services (school, health center, church).	0

	Productive activities	Generation of local jobs thanks to the development of productive activities.	2
	Impact on local resources	Land covered by the installed equipment	1
Technical Criteria	Economy	Initial investment and operation and maintenance costs.	10
	Supplied energy	Amount of energy and power supplied to each family.	5
	Continuity of the resources	Reliability of the utilized energy resources and autonomy of the batteries.	5
	Flexibility	Ease to expand the scope of electrification, by the adhesion of new users or by occasionally increasing consumption.	2
	Local replacement	Proximity of the assistance to repair equipment failures.	3
	Local manufacturing	Proximity of the places where the equipment is manufactured.	2
	Safety	System reliability in the event of failures in the equipment due to breakdowns.	6

Table 4 - The 5 top-ranked electrifications options in Stage 4

	PV indiv	PV mgrid	PV mgrids & indiv (all meters)	PV mgrids and indiv (mgrid meters)	Wind mgrid
Demand:	Low	Low	Low	Low	High
Energy [Wh/day]	280	280	280	280	336
Power [W]	200	200	200	200	240
Autonomy [days]	2	2	2	2	3
Technology used	Solar	Solar	Solar	Solar	Wind
Mgrids, indivs or both?	Indivs	Mgrids	Both	Both	Mgrids
Users with meters	Mgrid	All	All	Mgrid	Mgrid
Minimum 2 generators?	No	No	No	No	No
Cost [US\$]	33858	40344	33824	33224	39906

The 5 top-ranked options were presented to the group of technical and social experts from the NGOs PA and ESF so they could select the most appropriate. The experts based their decisions on very specific details of the community. First they determined that the wind resource variability in the area could result in the community being without energy for several days (even for the higher autonomy demand scenario). Secondly, the available budget was very limited, so that implementing one of the most expensive solutions could entail some limitations when electrifying the remaining consumption points. Finally, to decide whether to use only individual systems (first solution) or to combine them with microgrids (third and fourth solutions), the experts considered that the risk of conflicts between users in the microgrids was higher than the potential social benefits of these configurations. In conclusion, the option “PV individual” was chosen for the North and South Parts and a 95 W PV panel was installed at each of the 22 target households.

To complete the design of the electrification system, the remaining 17 households and the 2 shops were analyzed. For these points there were no waterfalls in the surroundings and the wind resource

for most of them was even lower and more variable than for the North and South Parts studied previously. Hence, the hydro and wind resources were discarded. Besides, users' dispersion at this area was higher than for the North and South parts, and there were also some social conflicts, so microgrids were discarded too. Accordingly, a 95 W PV panel was installed at each consumption point. Therefore, the total cost for the 39 households and the 2 shops was \$63099.

2.1.5.5 Additional remark

As observed, the cost of the project was: \$21836 for the two wind microgrids (Stage 1); \$13341 for the micro-hydro power plant (Stage 2); \$12699 for the solar microgrid (Stage 3); and \$63099 for the individual solar systems (Stage 4), which is a total global cost of \$110975. In order to have an order of magnitude regarding the cost of the proposed solution, the cost of installing an individual solar system at each consumption point was calculated; a commonly utilized solution due to its technical simplicity. The obtained cost was \$104585. When comparing both solutions, the costs are very similar; the implemented solution being just 6% more expensive than the common solution. However, the implemented solution uses the most appropriate technology for each point, greatly responding to users' real needs. In particular the high wind resource in an area of the community is used to install two wind microgrids that provide good development opportunities to the connected users (Kirubi et al., 2009). For the school and the health center, which are key points of the community, microgrids are also installed, allowing occasional demand increases and ensuring good reliability in their supply: for the school a hydroelectric power plant offers a continuous electricity service, while for the health center several PV panels are installed, so if one fails the others will still supply the electricity. Finally, in the remaining scattered points, individual systems are implemented since microgrids would be too expensive and bad relationships between users do not favor their use. In this way the most adequate option is installed at each consumption point, improving the sustainability of the project and the appropriateness of the users' electrification systems. Moreover, the slight cost difference emphasizes that the use of a combination of technologies is not a financial handicap for the community.

2.1.6 Evaluation and results

In December 2012, when 25 months had passed since the end of the project implementation in the community of Alto Peru, an ex-post evaluation was carried out in order to analyze the sustainability and population satisfaction with the adopted solution. In general, most of the population was satisfied with the quality of the electric service. However, although designing this project as a combination of technologies proved to be the best option in terms of technical efficiency, it also resulted in some inconveniences because of the diversity of options.

First, some disagreements appeared among families electrified in Stage 1, due to the great variability of the wind resource. For example, the users from one wind microgrid sporadically had less energy than the users from the other one and this, consequently, reduced their willingness to pay. Therefore, the installation of two extra PV panels in this microgrid was decided, preventing the implied risk of project failure. Besides, the available electricity for the wind microgrids' users (Stage 1) was much more variable than for the PV systems (Stages 3 and 4). Although wind users were satisfied with their service, some of them stated that they would have preferred the PV technology in order to have a more constant electric supply. Additionally, the WT had some mechanical problems and showed itself to be a less reliable technology than expected. Taking into

account that Alto Peru was located in a remote area of the Andean highlands, the repair of broken WT was slow and expensive, it being necessary to transport the turbine to the nearest city and then back to the community. Unfortunately, this reinforced users' preference towards PV technology as opposed to WT.

Secondly, the electric meters used in the implementation of the system only measured the consumption without limiting it, since the limiting devices are currently an expensive and non-national technology, creating external dependencies and needing technicians for their scheduling. Therefore, based on previous experience, a tariff-based consumption control strategy was established: the more you consume, the more you proportionally pay. However, this strategy was ineffective and, for example, in the PV microgrid (Stage 3) the health center and the 2 restaurants normally used more energy than that allotted to them, impeding the 2 households from using the energy they needed. To counteract this problem, the NGO PA established a training program to sensitize microgrid users about the need to organize an adequate share of the available electricity among themselves. However, when writing this paper, no consensus had yet been reached, so some microgrid users stated that they would have preferred individual systems.

Third, while individual PV systems only provided electricity for domestic uses, microgrids allowed other activities to be performed at good resource periods. In particular, while the micro-hydro power plant allowed some productive activities to be established (Stage 2), the individual PV systems (Stage 4) limited some activities as, for example, the case of a cheese producer who could not improve his business.

Fourth, the lack of a renewable energy market in the region of Cajamarca meant that technicians depended on distributors located in the capital of the country (Lima). This was a huge barrier for maintaining and repairing the broken equipment autonomously, even more considering that different technologies were utilized. Thus, two years after the end of the project implementation, Alto Peru's population still depended on PA's technicians when technical problems occurred.

Due to all of these factors, although the implemented solution was technically and economically efficient, it presented some inconveniences. For future projects, more factors must be taken into account, and special training and sensitizing strategies must be implemented to reduce the mentioned inconveniences, even though this will imply greater effort by the technicians in charge of the project and, consequently, a higher project cost. First of all, the whole community will have to be involved in the design and the decision-making processes must be participatory and equitable to ensure the adopted solution will really respond to the local context and needs. In particular, all the community groups shall be represented in order to respond to all of their needs, setting up special spaces mainly for collectives such as women or children, who tend to be disregarded. Secondly, a specific training program will be needed, not only depending on the different technologies, but also on the configuration of the electricity distribution (individual systems or microgrids), to guarantee that all users are aware of their responsibilities in terms of energy management. In the case of individual systems, the training should focus on the appropriate management of a limited amount of energy, while in the case of microgrids it should focus on the adequate distribution of energy among users, preventing one user from consuming more energy than expected and leaving the other without enough. Third, diversity in terms of technology and local energy resources might introduce occasional inequities, and must be correlated with the different needs and socioeconomic diversity of the population, ensuring the design will satisfy their

needs and minimize social conflicts. This will involve a previous training process, so that future users will be capable of participating in the planning process and deciding which technology they prefer on a reasoned basis. Finally, additional training will be needed to strengthen the link between local operators and supply distributors in Peru, so that any problem can be solved without needing PA intervention, thus strengthening autonomy and sustainability in the medium and long terms.

2.1.7 Conclusions

This paper describes the technical design of the electrification project of Alto Peru (Cajamarca, Peru). This was a pilot experience combining different technologies within a community, according to micro-scale energy resources and the social characteristics of the population. Through this system, 58 households, 2 shops, 2 restaurants, a health center, a school and church were electrified in four stages: two wind microgrids, a micro-hydro power plant, a PV microgrid and individual PV systems.

When selecting the best technical and social electrification option, the available energy resources were analyzed. Therefore in highlands wind energy was used, in the presence of a waterfall a micro-hydro power plant was installed and in lowlands sheltered from the wind solar energy was utilized. Moreover microgrids were used (or not) depending on whether there were social conflicts among the connected families (or not). Besides, while for the micro-hydro power plant and the PV microgrid the design was not excessively hard, for the wind microgrids and the individual PV systems, which supply a higher amount of consumption points, the design was more complex. For this purpose a two-stage process was carried out. First several electrification options were generated with two mathematical models and then the results were presented to a group of experts so that they could choose the best option. In the case of the individual PV systems, where a greater amount of electrification options were generated, a multicriteria decision-making process was used to reduce the group of options before presenting them to the group of experts.

An evaluation of the performance of the system was carried out some months after the implementation of the project. It was seen that, even though the system was technically efficient, some differences in the electricity availability among users (due to the different technologies used) caused some disagreements in the population. Therefore it was concluded that for future projects more training processes would be necessary to ensure that the design and implementation of the electrification system really responded to the real needs of the population.

Finally it should be highlighted that the current research has proven that it would be interesting to emphasize the need for multicriteria decision-making processes for future projects, in order to design electrification systems that consider a higher number of design criteria and the viewpoints of all the stakeholders involved in the project. As future research, the authors are developing a decision-aid tool that allows rural electrification promoters to design socially-adapted projects. In particular the design process is divided into three decision levels, ordered according to the importance of the decisions taken, and considers the point of view of all the stakeholders involved in the project, as well as the economic, technical and social aspects.

Acknowledgements

This paper was supported by the Spanish MICINN project ENE2010-15509 and co-financed by FEDER and by the Centre for Development Cooperation of the Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). The authors are very grateful for all the assistance and support provided by the NGOs Practical Action (Peru), Engineering Without Borders (Catalonia, Spain), and Green Empowerment (USA). Additionally the authors would like to thank the anonymous reviewers for their valuable comments and suggestions to improve the quality of the paper.

References

- Akorede, M.F., Hizam, H., Pouresmaeil, E., 2010. Distributed energy resources and benefits to the environment. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14, 724-734.
- Amador, J., Dominguez, J., 2005. Application of geographical information systems to rural electrification with renewable energy sources. *Renew. Energy* 30, 1897-1912.
- Bakos, G.C., 2002. Feasibility study of a hybrid wind/hydro power-system for low-cost electricity production. *Appl. Energy* 72, 599-608.
- Bekele, G., Tadesse, G., 2012. Feasibility study of small hydro/PV/wind hybrid system for off-grid rural electrification in Ethiopia. *Appl. Energy* 97, 5-15.
- Cavallaro, F., Ciruolo, L., 2005. A multicriteria approach to evaluate wind energy plants on an Italian island. *Energy Policy* 33, 235-244.
- Chaurey, A., Ranganathana, M., Mohanty, P., 2004. Electricity access for geographically disadvantaged rural communities – technology and policy insights. *Energy Policy* 32, 1693-1705.
- Coello, J., Escobar, R., Dávila, C., Villanueva, G., Chiroque, J., 2006. Micro hydro power plants and other alternative energies: contributions of practical action – ITDG to rural development. Environmental case studies and white/technical papers. Port of Entry, Environmental Business Network for the Americas.
- Department for International Development (DFID), 2002. Energy for the poor. Underpinning the Millennium Development Goals, London.
- Deshmukh, M.K., Deshmukh, S.S., 2008. Modeling of hybrid renewable energy systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 12, 235-249.
- Domenech, B., Ferrer-Martí, L., Pastor, R., 2012. Diseño de sistemas aislados de electrificación rural con consideraciones técnicas y sociales. 6th Int. Conf. Ind. Eng. Ind. Manag. Vigo, Spain.
- Dorji, T., Urmee, T., Jennings, P., 2012. Options for off-grid electrification in the Kingdom of Bhutan. *Renew. Energy* 45, 51-58.
- El-Shatter, T.F., Eskander, M.N., El-Hagry, M.T., 2006. Energy flow and management of a hybrid wind/PV/fuel cell generation system. *Energy Convers. Manag.* 47, 1264-1280.
- Ferrer-Martí, L., Pastor, R., Capó, G.M., Velo, E., 2011. Optimizing microwind rural electrification projects. A case study in Peru. *J. Glob. Optim.* 50, 127-143.

- Ferrer-Martí, L., Garwood, A., Chiroque, J., Ramirez, B., Marcelo, O., Garfí, M., Velo, E., 2012. Evaluating and comparing three community small-scale wind electrification projects. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 5379-5390.
- Ferrer-Martí, L., Domenech, B., García-Villoria, A., Pastor, R., 2013. A MILP model to design hybrid wind-photovoltaic isolated rural electrification projects in developing countries. *Eur. J. Oper. Res.* 226, 293-300.
- Frearson, L., Tuckwell, M., 2013. The future of mini-grids: from low cost to high value. Using demand driven design to maximise revenue and impact. Asian Development Bank, Manila.
- Giatrakos, G.P., Tsoutsos, T.D., Mouchtaropoulos, P.G., Naxakis, G.D., Stavrakakis, G., 2009. Sustainable energy planning based on a stand-alone hybrid renewable energy/hydrogen power system: Application in Karpathos Island, Greece. *Renew. Energy* 34, 2562-2570.
- Gueymard, C.A., Wilcox, S.M., 2011. Assessment of spatial and temporal variability in the US solar resource from radiometric measurements and predictions from models using ground-based or satellite data. *Sol. Energy* 85, 1068-1084.
- Henao, F., Cherni, J.A., Jaramillo, P., Dynner, I., 2012. A multicriteria approach to sustainable energy supply for the rural poor. *Eur. J. Oper. Res.* 218, 801-809.
- International Energy Agency (IEA) 2013. *World Energy Outlook*, Paris.
- Kanagawa, M., Nakata, T., 2008. Assessment of access to electricity and the socio-economic impacts in rural areas of developing countries. *Energy Policy* 36, 2016-2029.
- Kenfack, J., Neirac, F.P., Tatié, T.T., Mayer, D., Fogue, M., Lejeune, A., 2009. Microhydro-PV-hybrid system: Sizing a small hydro-PV-hybrid system for rural electrification in developing countries. *Renew. Energy* 34, 2259-2263.
- Kirubi, C., Jacobson, A., Kammen, D.M., Mills, A., 2009. Community-Based Electric Micro-Grids Can Contribute to Rural Development: Evidence from Kenya. *World Dev.* 37, 1208-1221.
- Kumar Lal, D., Bhusan Dash, B., Akella, A.K., 2011. Optimization of PV/wind/microhydro/diesel hybrid power system in HOMER for the study area. *Int. J. Elec. Eng. Inform.* 3, 307-325.
- Lambert, T.W., Hittle, D.C., 2000. Optimization of autonomous village electrification systems by simulated annealing. *Sol. Energy* 68, 121-132.
- Leary, J., While, A., Howell, R., 2012. Locally manufactured wind power technology for sustainable rural electrification. *Energy Policy* 43, 173-183.
- Loken, E., 2007. Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 11, 1584-1595.
- Meteosim Truewind SL, Latin Bridge Business SA. Peru Wind Atlas. Lima, Peru; 2008. Available at: <http://dger.minem.gob.pe/AtlasEolico/atlaseolicolibro/presentacion.pdf>.
- Ministry of Energy and Mines (MINEM). Informe anual de gestión. Lima, Peru; 2008.

- NASA. Surface meteorology and Solar Energy, Release 6.0. <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>. Last access: 27th March 2012.
- National Institute of Statistics and Informatics (INEI). La pobreza en el Perú el año 2007. Lima, Peru; 2007.
- Nema, P., Nema, R.K., Rangnekar, S., 2009. A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 13, 2096-2103.
- Nieuwenhout, F.D.J., Van Dijk, A., Lasschuit, P.E., Van Roekel, G., Van Dijk, V.A.P., Hirsch, D., Arriaza, H., Hankins, M., Sharma, B.D., Wade, H., 2001. Experience with solar home systems in developing countries: A review. *Prog. Photovolt.: Res. Appl.* 9, 455-474.
- Nijkamp, P., Reitveld, P., Voogd, H., 1990. *Multicriteria evaluation in physical planning*, Elsevier Science, North Holland, Amsterdam.
- Pohekar, S.D., Ramachandran, M., 2004. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning – A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 8, 365-381.
- Ramirez, B., Mantilla, W., 2009. *Diagnóstico socioeconómico del caserío de Alto Perú*, Practical Action, Cajamarca, Peru.
- Ranaboldo, M., Ferrer-Martí, L., Velo, E., 2014. Micro-scale wind resource assessment for off-grid electrification projects in rural communities. A case study in Peru. *Int. J. Green Energy* 11, 75-90.
- Rolland, S., Glania, G., 2011. *Hybrid mini-grids for rural electrification: Lessons learned*. Alliance for Rural Electrification, Brussels.
- Saheb-Koussa, D., Haddadi, M., Belhamel, M., 2009. Economic and technical study of a hybrid system (wind-photovoltaic-diesel) for rural electrification in Algeria. *Appl. Energy* 86, 1024-1030.
- Tenenbaum, B., Greacen, C., Siyambalapitiya, T., Knuckles, J., 2014. *From the bottom up – How small power producers and micro-grids can deliver electrification and renewable energy in Africa*, The World Bank, Washington.
- Wang, J.J., Jing, Y.Y., Zhang, C.F., Zhao, J.H., 2009. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 13, 2263-2278.
- Wamukonya, N., Davis, M., 2001. Socio-economic impacts of rural electrification in Namibia: comparisons between grid, solar and unelectrified households. *Energy Sustain. Dev.* 5, 5-13.
- Yadoo, A., Cruickshank, H., 2012. The role for low carbon electrification technologies in poverty reduction and climate change strategies: A focus on renewable energy mini-grids with case studies in Nepal, Peru and Kenya. *Energy Policy* 42, 591-602.
- Zahedi, A., 2006. Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems. *Renew. Energy* 31, 711-718.
- Zhou, P., Ang, B.W., Poh, K.L., 2006. Decision analysis in energy and environmental modeling: An update. *Energy* 31, 2604-2622.

Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L., Yang, H., 2010. Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems. *Appl. Energy* 87, 380-389.

2.2 Evaluación Alto Perú

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos tras la evaluación en términos de bienestar y agencia del proyecto de electrificación en Alto Perú. Esta evaluación ha sido realizada desde el enfoque de capacidades (en adelante EC), utilizando una metodología de investigación diseñada *ad hoc* para la ocasión. El EC es un marco teórico que nos permite ampliar la base de información sobre la cual se realizan las evaluaciones, en la cual aspectos como el acceso, la sostenibilidad o el empoderamiento juegan un papel fundamental. Además, el EC es un marco que sitúa a las personas en el centro de las evaluaciones, para superar el mero análisis de impactos de proyectos en términos de recursos/servicios prestados o resultados obtenidos, bajando a un estudio centrado en las personas y analizando los cambios que el proyecto ha producido en sus vidas.

2.2.1 Enfoque de capacidades, evaluación en términos de bienestar y agencia

En este apartado se presenta un enfoque alternativo a las metodologías de evaluación más clásicas basado en el enfoque de capacidades y centrado en los conceptos de bienestar y agencia.

Según el Enfoque de Capacidades (EC) el desarrollo es entendido como la ampliación de las oportunidades de las personas para llevar a cabo la vida que tienen razones para valorar (Sen, 1999). El EC es un marco normativo para evaluar el bienestar individual de las personas y su entorno institucional, el diseño de políticas o propuestas de cambio social. No se trata de una teoría que explique fenómenos como la pobreza o las desigualdades, sino que aporta un marco para conceptualizar, entender y evaluar estos fenómenos (Robeyns, 2005).

Según este enfoque, la base de información para medir el desarrollo se identifica con las capacidades básicas de los seres humanos para llevar a cabo la vida que tienen razones para valorar (Sen, 1985; 1999). Una capacidad refleja lo que una persona puede hacer o ser, independientemente de que decida realizarlo (oportunidad). Las **capacidades** se caracterizan, por tanto, como el conjunto de libertades que gozan los individuos para llevar un tipo de vida u otro (Sen, 1999). Los **funcionamientos** son los diferentes estados o actividades que una persona puede valorar ser o hacer. La diferencia fundamental entre capacidades y funcionamientos es que las capacidades constituyen las opciones de que una persona dispone, y los funcionamientos las elecciones que efectivamente realiza.

En este sentido, lo que propone este enfoque es que la pobreza es, ante todo, falta de libertad para llevar adelante planes de vida que una persona tiene razones para valorar. Y es precisamente lo más interesante de este enfoque: considerar que los bienes y servicios por sí solos no suponen **bienestar**. Según Sen (1999) “El desarrollo (*bienestar*) de una persona consiste en expandir el conjunto de capacidades a partir del cual cada persona toma sus decisiones vitales y profesionales liberado de las ataduras (*unfreedoms*) que dejan a las personas con poca capacidad de elección y pocas oportunidades para ejercitar su agencia”.

Otro concepto clave del enfoque de capacidades es la **agencia**. Sen (1985) la define como la “habilidad que tiene una persona para conseguir las metas o valores que considera importantes”. Agente sería “la persona que actúa buscando un cambio” (Sen, 1999). Puesto que bajo el enfoque de capacidades el desarrollo es visto como el *proceso* de expansión de las libertades reales que disfrutaban las personas, la agencia cobra especial relevancia. Mayor agencia potencia la habilidad

de las personas para ayudarse a sí mismas, pero también para influir en el mundo, siendo estos temas claves para los procesos de desarrollo.

Teniendo estos conceptos en cuenta, se puede ampliar y reenfocar el espacio de información en que se basan las evaluaciones que habitualmente se llevan a cabo para centrarse completamente en las personas, en el conjunto de opciones y libertades de que disponen, así como en la capacidad individual y colectiva de la población para conseguir las metas y objetivos que valoran. No solo es relevante evaluar la sostenibilidad, el impacto económico o el grado de utilización del recurso eléctrico, por ejemplo. Es importante centrar la mirada en las personas como fin último del desarrollo y no así en los recursos que se les brinda o los resultados tangibles que se obtienen fruto del proyecto.

En las evaluaciones clásicas, se verifica el correcto funcionamiento del sistema y el impacto que el mismo ha tenido en la población, es decir, se evalúan los recursos y/o los resultados obtenidos de los mismos. Sin embargo, una evaluación en estos términos puede llevar a conclusiones incorrectas o, al menos, a conclusiones basadas en un espacio de información incompleto. En primer lugar, si consideramos exitoso un proyecto cuando los recursos se hayan mantenido operativos y en buen estado a lo largo del tiempo, podemos caer en el error de no considerar qué nuevas oportunidades y libertades están aportando estos recursos a la población. En segundo lugar, si consideramos que ha fracasado un proyecto porque los resultados que se esperaba no se han alcanzado, tal vez nuevamente nos equivoquemos. Es posible, por ejemplo, que el proyecto sí haya originado una verdadera expansión del conjunto de capacidades de los individuos, pero que éstos no hayan tomado la decisión de hacerlas efectivas, no consiguiendo, por tanto, nuevos funcionamientos. Por último, las evaluaciones que habitualmente se llevan a cabo no ponen énfasis en considerar el impacto del *proceso* del proyecto en términos de bienestar y agencia, lo cual supone una gran debilidad según el enfoque de capacidades.

Este enfoque y metodología de evaluación se aplica específicamente en la evaluación de Alto Perú (apartado 5.2.2). En este ejemplo, se muestra cómo se debe avanzar en entender la evaluación no solo como una herramienta de *aprendizaje* sino también de *transformación* (Niremburg et al., 2010; Robeyns, 2005), es decir, la evaluación como una herramienta de reflexión y aprendizaje no solo dirigida al personal responsable del proyecto si no también a la población beneficiaria. En este sentido, la metodología que se presenta en el ejemplo de Alto Perú pretende establecer espacios en los que las personas pueden llevar a cabo un análisis conjunto del proceso del proyecto, analizando cuál ha sido su papel, concienciándose de cuáles han sido las principales transformaciones que se han producido, tanto a nivel personal como colectivo, identificando las mayores potencialidades, así como las debilidades, de forma que puedan incidir efectivamente sobre ellas en el futuro.

Asimismo, es de gran importancia diseminar los aprendizajes que puedan surgir de las evaluaciones llevadas a cabo tras la implementación de los proyectos. Es habitual en las evaluaciones convencionales que, suponiendo que existiera un aprendizaje, éste queda restringido a los que han encargado las evaluaciones en lugar de contribuir a un conjunto más amplio de conocimiento y de influir en las políticas y en los programas (Blue, 2009). En el ejemplo, tras el análisis de los resultados se ha desarrollado un taller con el equipo de trabajo íntegramente para compartir éstos

y diseñar nuevas herramientas y metodologías para implementar los aprendizajes extraídos en los protocolos de intervención.

A continuación, se detallarán los pasos metodológicos que se han realizado para poner en práctica una evaluación basada en este enfoque y, por último, se presentarán los resultados obtenidos del estudio y las lecciones aprendidas de los mismos.

2.2.2 Metodología

En primer lugar, la metodología propuesta para ser empleada en campo en esta investigación ha constado de 3 partes diferenciadas, llevadas a cabo por Pau Lillo, José Sastre y Álvaro Fernández-Baldor, de la Universitat Politècnica de València (UPV), y Hugo Mercado, sociólogo de Soluciones Prácticas:

1. *Focus group* con líderes y lideresas de las distintas organizaciones presentes en la comunidad³, en el que se extrae información relativa a:
 - a. *Acceso al proyecto*: ¿Cómo ha llegado el proyecto a la comunidad? ¿Cómo se les ocurrió el proyecto? ¿Quién participó en la toma de decisiones?
 - b. *Organización*: ¿Qué organizaciones existen en la comunidad? ¿Cómo se organizaron para iniciar el proyecto? ¿Cómo gestionan actualmente el proyecto?
 - c. *Participación*: ¿Cómo ha participado la gente en el proyecto? ¿Cómo se escogieron las viviendas para electrificar? ¿Qué criterios utilizaron? ¿Hay alguna mujer en el comité?
 - d. *Equidad*: ¿Cuántas familias se benefician del proyecto? En caso de que alguna familia de la comunidad no sea usuaria, ¿por qué?
 - e. *Reciprocidad / ayuda*: Cuando una familia (por diferentes motivos) no puede pagar su tarifa de luz, ¿cómo solucionan el problema?
 - f. *Empoderamiento / agencia*: ¿Creen ustedes que es importante pagar una tarifa? ¿Se han visto beneficiados por otros proyectos o programas? ¿Han solicitado algún otro proyecto a la municipalidad o a alguna otra institución? En caso afirmativo, ¿antes o después del proyecto? ¿Hay alguna relación? ¿Tienen pensado solicitar algún otro proyecto a algún otro financiador?
 - g. *Comunidad*: ¿Cuándo creen ustedes que una comunidad es fuerte? ¿Qué mejorarías en tu comunidad para que fuera más fuerte? ¿Creen ustedes que el proyecto ha contribuido a hacer la comunidad más fuerte? ¿Cómo?

Complementariamente, se elabora una *Línea de Tiempo* de forma participativa, con la finalidad de contextualizar el proyecto de electrificación con la historia de la comunidad. Con esta primera parte de la metodología se pretende, por un lado, obtener información general del proyecto y de su proceso de implementación, así como comprender mejor los procesos organizativos en el seno de la comunidad y su visión de *fortaleza comunitaria* y, por otro lado, establecer el contacto previo

³En esta primera actividad participaron ocho personas, cuatro hombres y cuatro mujeres, entre las que figuraba el teniente gobernador, Don Filadelfio López, el agente municipal, Don Cesáreo López y el operador de los sistemas, Don Rolando López.

necesario para lograr un mínimo de confianza en los pobladores que posteriormente tomarán parte en los talleres y las entrevistas.



Ilustración 1. Taller con líderes y lideresas en Alto Perú.

2. Realizar un taller con los hombres y las mujeres beneficiarias de los proyectos por separado en los que se han obtenido, en primer lugar, cuáles son las capacidades que las usuarias y usuarios valoran en su vida, así como descubrir cuáles son sus deseos y preferencias. En segundo lugar, se ha indagado sobre los impactos positivos y negativos del proyecto, considerando los efectos tanto del recurso electricidad como del proceso del proyecto, en términos de bienestar y agencia.
 - a. En la primera parte de cada taller, los asistentes son divididos en pequeños grupos de 3-4 personas, de manera que se sientan más cómodos y se dinamice la participación. Cada grupo debía escribir en pequeñas cartulinas aquellos aspectos de la vida que considerase valiosos, es decir, cuáles son los componentes que conforman una buena calidad de vida. Posteriormente, las cartulinas son colocadas en un lugar visible, agrupadas según 9 dimensiones del bienestar definidas por los facilitadores⁴ y valoradas según su importancia⁵.



Ilustración 2. Primera parte del taller con mujeres en Alto Perú

⁴ Las dimensiones del bienestar han sido definidas tras un trabajo de revisión bibliográfica y en colaboración con el equipo de sociólogos de SP. En cualquier caso, el único objetivo de la agrupación según dimensiones del bienestar es que los participantes en el taller tengan una visión holística de los componentes que conforman una buena calidad de vida, sin que ningún aspecto quede en el olvido. Queda fuera de este estudio, por tanto, el análisis y definición de las dimensiones de bienestar.

⁵ Cada participante dispone de 8 stickers para repartirlos como deseo entre todas las cartulinas, en función de la importancia que asigne a cada una de las capacidades que han sido escritas por todos los grupos. Cabe remarcar que esta dinámica no fue exitosa y, por tanto, su resultado no ha sido considerado en este estudio.

- b. En la segunda parte, se realizan dos dinámicas distintas. La primera de ellas consiste en la *Dinámica de la Bola*, en la que los participantes se colocan de pie y en círculo. La persona que tiene la pelota en sus manos debe completar las oraciones siguientes: “*El proyecto me ha gustado porque ahora...*” y “*El proyecto no me ha gustado porque ahora...*”. Una vez realizado esto, pasa la pelota a un/a compañero/a que deberá hacer lo mismo. La segunda actividad consiste en retomar las capacidades que se han descrito en la primera parte del taller y, con ayuda de tarjetas verdes, amarillas y rojas, valorar si el impacto del proyecto sobre cada una de estas capacidades ha sido positivo, neutro o negativo, respectivamente.



Ilustración 3. Segunda parte del taller con mujeres en Alto Perú

3. Por último, se han realizado diversas entrevistas semiestructuradas, tanto a usuarios como a usuarias de los sistemas, en las que se pretende indagar en tres aspectos diferenciados:
- Analizar cómo ha tenido acceso al proyecto, en qué ha participado y cuál ha sido grado de participación, y cuáles han sido los aprendizajes más relevantes que ha extraído del proyecto.
 - Dinámica de los usos del tiempo, para comprobar cuáles han sido los impactos del proyecto en las tareas diarias de los usuarios y usuarias entrevistadas.
 - Conocer cuál es su visión de una comunidad fuerte y la contribución del proyecto en este aspecto, así como descubrir qué mejoras en cuanto al proceso de proyecto proponen.

De esta manera, con la metodología empleada quedan cubiertos los espacios de información referentes a bienestar y agencia, tanto individual como colectiva. Además, quedan salvadas posibles barreras al acceso de información, como puede ser la limitada participación de las mujeres, ya que se les entrevista individualmente y se hace un taller específico solo con ellas, o la apropiación de los espacios de debate por parte de los líderes, ya que los facilitadores han prestado especial atención a este aspecto. Finalmente, a los y las participantes de los talleres se les entrevista individualmente con posterioridad. Dado que la información se obtiene de diferentes fuentes, se hace posible la triangulación de la misma para aseverar las conclusiones extraídas de la investigación.

Para completar la información que nos permite analizar el impacto del proyecto, se ha hecho necesario atender al contexto político y socioeconómico, en tanto que los factores de conversión individual resultan de vital importancia. Para ello se han llevado a cabo talleres con el personal de Soluciones Prácticas e Ingeniería Sin Fronteras, se han realizado entrevistas personales a los miembros del equipo, así como también a diversos actores que pueden aportar información de

relevancia a la investigación, como son Ingeniería Sin Fronteras⁶, GRUFIDES⁷, Susana Araujo⁸, Pedro Gamio⁹, Ivo Salazar¹⁰, Escuela para el Desarrollo¹¹, SER¹² y la UNI¹³.

2.2.3 Resultados

En primer lugar analizaremos cuáles han sido los principales impactos del proyecto en relación a los aspectos que han resultado más valorados en la vida por las propias usuarias y usuarios del proyecto.

- a) Existe una **mejora en la educación** de los niños y niñas de la comunidad ya que con la electricidad tienen la capacidad de estudiar en las noches. Gracias a esto, las madres valoran que ahora sus hijos e hijas tendrán mejores oportunidades para “*saberse defender en la vida*”. Complementariamente, han manifestado que con la electricidad sienten que tienen más posibilidades de disponer de computadoras e internet, mejorando así las posibilidades de sus hijos de “*ser profesionales*”.
- b) Disponen de **mejores condiciones de salud** ya que mejoran los cuidados en la noche en caso de enfermedad: “*puedes agarrar en la noche las medicinas o hervir el agua*”.
- c) Se ha producido una **mejora en las relaciones vecinales de las mujeres**. Ahora pueden conversar las noticias de la TV y esporádicamente reunirse en la vivienda de algún usuario que disponga de la misma.
- d) Gracias a disponer de un alumbrado de mayor calidad, las mujeres afirman que en la actualidad se producen **menos discusiones** con sus esposos. Además, este nuevo recurso les **permite realizar un mayor número de actividades** y tareas a lo largo del día, ya que con anterioridad en horas de oscuridad dormían.
- e) La posibilidad de disponer de luz en los patios frontales de las viviendas **mejora la sensación de seguridad** dentro de las viviendas de los usuarios.
- f) Los pobladores de religión evangelista han visto **reforzada su espiritualidad**, ya que con la electrificación de la iglesia pueden disponer de sistemas audiovisuales con las que ver películas religiosas y disfrutar de una misa en mejores condiciones.
- g) Se han visto reforzadas las **oportunidades de ocio** en la comunidad ya que, por un lado, los habitantes han expresado su satisfacción por poder ver la televisión en las noches y, por otro, ahora tienen la capacidad de organizar fiestas y bailes nocturnos para celebrar eventos de relevancia para la comunidad.
- h) Los **recursos económicos** de las familias se han visto incrementados tras el proyecto de electrificación ya que se han reducido los gastos en velas y querosene. Complementariamente, cabe destacar el caso de una familia propietaria de una pequeña bodega que ahora puede permanecer abierta durante más horas, con lo que queda ampliada su cuota de mercado a los viajeros que circulan por la carretera adyacente en las noches y así incrementar sus ingresos.

⁶ ONG española contraparte de Soluciones Prácticas en diversos proyectos de energización en comunidades rurales de Cajamarca

⁷ Grupo de Formación e Intervención para el Desarrollo Sostenible. ONG con gran experiencia en el ámbito rural cajamarquino y los impactos sociales y medioambientales de la minería.

⁸ Responsable de Proyecto ONGD y Género de la AECID-Perú.

⁹ Viceministro de Energía entre 2006 y 2008.

¹⁰ Director de Consultoría y Eficiencia energética en Deuman y ex-coordinador del programa ENISER de Soluciones Prácticas.

¹¹ ONG experta en enfoque de género y con amplios conocimientos sobre la situación de la mujer en el ámbito rural de la sierra norte del Perú.

¹² Servicios Educativos Rurales. ONG con amplia experiencia en desarrollo rural en la región Cajamarca.

¹³ Entrevista a Raquel Barrionuevo de la Universidad Nacional de Ingeniería.

- i) Se ha comprobado que se ha incrementado el sentimiento de comodidad en la vivienda. En la actualidad pueden disfrutar de un **hogar con buen ambiente y saneado**, ya que con el alumbrado se facilitan las tareas de limpieza doméstica.

Con todo, podemos afirmar que los proyectos energéticos están expandiendo el conjunto de capacidades de los habitantes de Alto Perú en varias maneras. En primer lugar, podríamos decir que de manera directa el proyecto ha tenido un impacto positivo en la educación, en la salud o en las posibilidades de ocio. Pero además, es posible que en el futuro se generen nuevas oportunidades derivadas a las que los niños y niñas de la comunidad podrían acceder en el futuro gracias a la mejora en la educación, como puede ser “*saberse defender*”, tener mejor acceso a trabajo cualificado o conseguir un nivel mayor de ingresos.

Por otra parte, **la expansión de capacidades derivadas del proyecto es diferente entre hombres y mujeres**. Por ejemplo, los hombres han manifestado que gracias al nuevo recurso son capaces de tener un mayor acceso a la cultura y a la información ya que pueden leer en las noches, así como “*acercarse más a Dios*” leyendo la Biblia. Sin embargo, dada la gran diferencia en el grado de alfabetización entre hombres y mujeres, éstas no pueden disfrutar de estas nuevas opciones al mismo nivel que sus esposos.

En el terreno organizacional, se ha reforzado la Ronda Campesina¹⁴ ya que ahora sus miembros (todos hombres) pueden tener reuniones en las noches, facilitando el acceso a las mismas a sus integrantes. Sin embargo, esta mejora en cuanto a la participación en organizaciones de relevancia dentro de la comunidad no se da en las mujeres, ya que su rol dentro de las mismas sigue relegado a un segundo plano.

No obstante, las mujeres también han visto reforzadas ciertos funcionamientos que también valoran. Un ejemplo de ellos sería la oportunidad de continuar con sus labores de tejido en las noches. Sin embargo, si bien ésta es una capacidad que ellas valoran, la tarea de coser en las noches reproduce el rol reproductivo típicamente asociado a la feminidad y perpetúa las desigualdades de género.

En términos de agencia, no se han encontrado evidencias de fortalecimiento de la agencia individual en los miembros de la comunidad. En términos de agencia colectiva, el teniente gobernador, Don Filadelfio López Chuquilín afirma que “*después del proyecto hay más fuerza y más ánimo para reclamar más proyectos*”. Aun así, si bien es cierto que los pobladores de Alto Perú sí se organizan y se movilizan para reclamar sus derechos frente a la municipalidad y pedir nuevos proyectos, se coordinan con otras comunidades para resolver problemas comunes y disfrutan de buenas capacidades organizacionales, no se puede afirmar que el proyecto haya servido de catalizador en este sentido. Más bien se ha podido comprobar que ya estaban dotados de estas capacidades previamente y con el proyecto se han visto reafirmadas.

En cambio, **las capacitaciones sí han servido para reforzar el sentimiento de fortaleza comunitaria**. En palabras de Don Augusto López Chuquilín: “*Nosotros necesitamos capacitaciones para ser más fuertes. Si no hay capacitación, no sabemos cómo reclamar*”. En este sentido, sí se podría afirmar que el proyecto sirve para reforzar el “poder propio” de los miembros de la comunidad, entendiendo éste como un requisito previo imprescindible para generar agencia.

¹⁴Las Rondas Campesinas constituyen una forma extendida de institución comunal andina que ejerce funciones de gobierno local, justicia, desarrollo local, interlocución con el Estado y articulación supra-local.

Eso sí, dado que son mayoritariamente los hombres quienes participan en las capacitaciones, las mujeres quedan fuera de este proceso de empoderamiento.

Analizando los niveles de participación y acceso al proyecto, se ha comprobado que la iniciativa del proyecto correspondió a Soluciones Prácticas, es decir, no fue la población la que reclamó el proyecto. Además, se ha observado que al inicio existieron ciertas reticencias a la propuesta de electrificación, ya que, como afirma Don Augusto López Chuquilín *“como hay varias empresas de la mina¹⁵ que nos estafan y nos engañan, había desconfianza y algunos no se lo creían (que iba a llegar el proyecto de la luz). Algunos que no se lo creyeron se han quedado sin luz”* o *“Cuando funcionó la luz, todo el mundo quería luz. Algunos se reían diciéndonos si creíamos que iba a haber luz con el viento, y luego quisieron tener luz y ya no pudo ser”*. Una vez superadas estas barreras iniciales, el proyecto se puso en marcha contando con la participación de la población. Los futuros usuarios del proyecto tomaron parte del mismo asistiendo a las reuniones periódicas que los técnicos de Soluciones Prácticas planteaban, aportando mano de obra no cualificada y consiguiendo que la Municipalidad Distrital de Tumbadén apoyase el proyecto con un 15% de cofinanciación. Aun así, cabe recalcar que estos procesos de inclusión de la población han estado dominados por una minoría de hombres con elevado liderazgo, no contando con una participación activa y de calidad de las mujeres.

En cuanto a los aprendizajes que los usuarios han obtenido gracias al proyecto, se destaca la satisfacción de la población en cuanto a la calidad de las capacitaciones y el gran valor que tienen para ellos. Mención especial merece el operador de los sistemas, quien reconoce que gracias a las capacitaciones para operador que han recibido algunos miembros de la comunidad, ahora *“pueden ir a trabajar de electricista a cualquier lado”*.

Considerando el sentimiento de fortaleza comunitaria, se constata que según su visión una comunidad es fuerte cuando la población está unida, tienen buenas capacidades organizacionales y buenas autoridades. En este sentido, se puede afirmar que **el proyecto ha contribuido al reforzamiento comunitario**. En palabras de Don Rolando López *“ahora tenemos más reuniones y podemos dialogar y conversar”*.

Por último, analizando los usos del tiempo se observa que el cambio más importante que los usuarios valoran y que ha producido el proyecto es el **incremento de horas útiles durante el día**, a costa de una reducción de horas de sueño. Gracias a la electricidad en la actualidad pueden iniciar sus tareas más temprano en la mañana, ya que disponen de un alumbrado de calidad en la vivienda. Además, dado que ahora disponen de nuevas comodidades, en la noche pueden ver la televisión y tener un mejor acceso a la información, pueden reunirse, tejer o, simplemente, disfrutar de la compañía de los familiares, sin necesidad de acostarse tan temprano como hacían anteriormente.

En cuanto a los aspectos negativos del proyecto que fueron planteados por las mujeres de Alto Perú, únicamente se hizo mención a las dificultades técnicas que han venido sucediendo en los últimos tiempos debido a la tecnología de bajo coste de los aerogeneradores. Este hecho provocaba cortes de luz de manera temporal, lo cual provocaba ciertos agravios y conflictos en el modelo de

¹⁵ La comunidad de Alto Perú se encuentra en el entorno más próximo a la mina a tajo abierto Yanacocha, la cual, debido a su impacto económico y medioambiental, supone un elemento generador de conflictos sociales de gran magnitud en la zona.

gestión. Afortunadamente, con el tiempo estos inconvenientes se han ido subsanando y en la actualidad los sistemas están funcionando satisfactoriamente.

2.2.4 Lecciones aprendidas

En cuanto a la aplicación de esta nueva metodología, cabe remarcar que, si bien aplicar técnicas participativas teniendo en cuenta los principios de Desarrollo Humano no está exento de ciertas dificultades en términos de asistencia y motivación de la población¹⁶, así como de aseveración de los resultados obtenidos mediante triangulación de la información, éstas han proporcionado resultados que amplían en gran medida la base de información con la que analizar tanto los beneficios como los cambios no deseados que se han producido una vez concluido el proyecto en cuestión.

En cuanto a los resultados de la investigación, en primer lugar, se ha demostrado que **existe realmente una ampliación del set de capacidades** producto del proyecto de electrificación. Sin embargo, ésta ha resultado ser desigual entre hombres y mujeres. Este hecho puede ser explicado en base a tradiciones de tipo social y cultural, que impiden a la mujer participar en espacios públicos, tomar decisiones o desempeñar un rol productivo al mismo nivel que los hombres. Por tanto, **es necesario incorporar nuevas herramientas que permitan visibilizar las desigualdades de género y transformar las estructuras de poder**, de manera que se pueda alcanzar un mayor equilibrio en las relaciones entre hombres y mujeres.

En términos de agencia, se ha comprobado la importancia de las capacitaciones para reforzar el “poder propio” de la población. Por tanto, se debe ser inclusivo en la planificación de las mismas, ideando mecanismos que permitan superar las barreras que en la actualidad impiden la participación de las mujeres en las mismas.

En cuanto a la participación de la población en los espacios de decisión se ha constatado la apropiación de los mismos por una minoría de hombres con elevado liderazgo en la comunidad. Producto de esto puede ocurrir que aparezcan importantes sesgos en la información que maneja el equipo técnico entorno a la comunidad, así como inequidades sociales producto de desequilibrios de poder en los procesos de toma de decisión colectiva.

Por último, cabe remarcar que para asegurar la sostenibilidad del proyecto se debe asegurar un correcto funcionamiento de los equipos, ya que los cortes de electricidad no solo suponen problemas técnicos y económicos, sino que también generan conflictos entre vecinos que pueden dar al traste con el modelo de gestión del sistema y, por ende, con el proyecto.

2.2.5 Bibliografía

Blue, R. (2009). Beyond Success Stories: Monitoring and Evaluation for Foreign Assistance Results.

¹⁶ Por ejemplo, han existido casos en que las mujeres respondían con monosílabos a las preguntas en las entrevistas, y casos en que la información resultaba ser contradictoria. Además, los talleres requieren de cierto esfuerzo al inicio por parte del facilitador/a para motivar a los/as asistentes a que participen de una forma activa.

Nirenberg, O., Brawerman, J., Ruiz, V. (2000). Evaluar para la transformación. *En Innovaciones en la evaluación de programas y proyectos sociales. Paidós.*

Robeyns, I. (2005). The capability approach: a theoretical survey. *The Journal of Human Development, 6:93–117.*

Sen, A. (1985). Well-being, agency and freedom: The Dewey lectures 1984. *The Journal of Philosophy, 82:169–221.*

Sen, A. (1999). Development as freedom. *Oxford University Press.*

2.3 Gender, Energy and Inequalities: a Capability Approach Analysis of Renewable Electrification Projects in Cajamarca, Peru.

2.3.2 Introduction

Access to electricity is considered a key factor in reducing poverty, especially in rural areas, where development indices are usually low (Gomez and Silveira 2010; Pasternak 2000; Borges et al. 2007). As in most countries, the Peruvian government's current strategy to increase rural electrification is oriented towards the expansion of the national grid. However, the degree of isolation of non-electrified rural communities represents a significant barrier to access to this service due to higher investment costs, limited capacities of operation and maintenance (ESMAP 2001); as well as low consumption rates (Gouvello 2002). This is particularly critical in Peru because its varied and complicated geography includes a wide mountain range and vast areas of rainforest. In such contexts, small off-grid systems for energy generation, especially renewable energy based systems, represent a suitable alternative for providing electricity to the rural population (Nguyen 2007; Breyer et al. 2009; Benecke 2008; Chaurey et al. 2004).

Technical studies show the advantages of decentralized models, such as the avoidance of costly and inefficient transmission losses (Benecke 2008), the suitability for low load factor projects (Kaundinya et al. 2009) or the independence from fuel supply and respect for the environment (Nguyen 2007). Nevertheless, there are not many studies analysing the impact of electrification in people's life.

Practical Action is a NGO of international technical cooperation that has been operating in Latin America since 1985. The office located in the Peruvian region of Cajamarca is in charge of the energy projects, which aim to provide rural communities with access to sustainable renewable energy-based off-grid services. Practical Action combines two approaches: the projects are implemented using Appropriate Technologies (renewable energies, low cost, local production, simple technology, etc.) combined with the Sustainable Livelihoods Framework. Thus, appropriate technology is aimed to support the livelihoods of rural families. Despite having over 30 years of experience in technological projects, the NGO itself acknowledges a problem with the projects' sustainability. Projects sometimes failed due to factors not linked to the implemented electrification technology; for instance, community power struggles, poor participation of local people, established social rules or relationships with local governments. In fact, today the NGO is rethinking his narrative, trying to steer the results toward the people's well-being.

As observed in previous research (Fernández-Baldor et al. 2013), a weakness in the work of Practical Action in Peru is that they focus on the implementation and management of the asset or technological service instead of focusing on people. On one hand, the technologies are appropriate, but the projects do not try to empower people during the process, missing its transforming potential. On the other hand, whilst considering the household as the intervention unit, it is not analysed what goes on inside them. Therefore, one of the limitations is the impossibility to consider intra-household inequalities caused by the asset or technological service. This is particularly relevant regarding gender inequalities within families.

The purpose of this article is to deepen on gender inequalities caused by the electrification projects. In this respect, the research uses the Capability Approach to provide information about the

implications of the use of technology in relation to the real options available to the beneficiaries of electrification projects.

2.3.3 The Capabilities Approach as a Framework to Analyse Gender Inequalities

Capabilities refer to the various combinations of functionings that a person can achieve. The functionings are the different states or activities that a person values being or doing (Sen 1999). The fundamental difference between capabilities and functionings is that capabilities represent the full range of possible (achievable) functionings a person can choose from. In other words, a person can have certain capabilities (enjoy different freedoms) but choose to use them or not. These choices depend on the individual's context, personality, life history and other factors (Robeyns 2005). Therefore, a main goal of the Capabilities Approach (CA) is to deal with the conversion of commodity characteristics into functionings, taking into account the attributes of individuals (intelligence, metabolism, etc.) and societies (gender roles, institutions, etc.) (Robeyns 2000).

Sen states that the focus of evaluations and judgements should be the real choices people have, and not only the resources available: “the question of gender inequality...can be understood much better by comparing those things that intrinsically matter (such as functionings and capabilities), rather than just the means [to achieve them] like...resources” (1992, 125). Gasper and Van Staveren (2003) provide an example: a woman can be free to qualify for a public post, but it is possible that her commitments and family care responsibilities prevent her from doing so. So it is not a real option to her. In that case the challenge is for men to assume domestic chores to create a real possibility (positive freedom) for women. Women have the potential to become capable, so that is why their unequal failure in capability is, in Nussbaum (2000) words, a problem of justice.

Robeyns (2003; 2008) analyses the strengths and weaknesses of the CA in addressing gender issues. The first advantage, according to her, is the focus on individuals: capabilities and functionings are properties of individuals, so the units of normative judgement are individuals, not households or communities. This point is important for analysing gender inequalities since women's well-being cannot be subsumed under wider entities. The second advantage is the inclusion of non-market dimensions of well-being, such as care labour or household work. Women are spending much more time outside the market economy than men, so the inclusion of these aspects in our normative analysis will reveal complexities in the distribution of well-being that an analysis of income alone cannot capture. The third advantage is that the approach acknowledges human diversity: the conversion of commodities into functionings can differ between people. Thus by conceptualizing gender inequality in the space of functionings and capabilities, there is more scope to account for human diversity, including gender.

However, the main weakness of the CA in analysing gender inequalities is its underspecified nature. As Robeyns (2008) stresses, additional theories are needed, and the selection of these theories can influence the outcome. From her point of view, different capability assessments can be made depending on the supplementary theory used. Thus, it is important to be aware that “the capability approach is vulnerable to androcentric interpretations and applications” (Robeyns 2003). Instead, a feminist capability account would use a rich theory of gender to address gender inequalities in the conversion of the resources into capabilities, and gender inequalities in the

capabilities sets, as well as how gender interacts with choice and personal responsibility (Robeyns 2008).

A complete analysis of gender inequality should also examine which inequalities in resources cause gender inequalities in capabilities and functionings. For example, Agarwal (1994, 1455) has argued, in the context of South Asia, that “the ownership and control of property is the single most critical contributor to the gender gap in economic well-being, social status and empowerment.” Moreover, Iversen (2003) points out that power inequality in the household affects the opportunities of the family members to achieve well-being and may even distort their preferences. The same author mentions that in traditional societies, women may sacrifice their notion of well-being for the sake of the household.

This point, that of the adaptive preferences, is seen by many scholars of the CA as Sen’s main argument against utilitarianism (see, for example, Teschl and Comim 2005; Qizilbash 2006; Robeyns 2008; Clark 2012). Sen (1985; 1992) criticizes approaches that measure well-being in terms of utility. According to Sen, unfavourable circumstances can make allies out of the disadvantaged and deprived in so far as they “learn to take pleasure in small mercies and cut down their desires to modest—‘realistic’ proportions in order to avoid bitter disappointment” (1992, 55). For Clark (2012), adapting to what is feasible may be a good thing in as much as it reduces the amount of suffering and misery associated with objectively straitened circumstances. For Sen, the propensity to minimize difficulties and enjoy small breaks “is one way of being able to live peacefully with persistent deprivation” (2009, 283). In this regard, Qizilbash (1997) states that people may adjust to deprivation and hardship by developing “compensating abilities.” He illustrates it by giving an example: women might compensate for their perceived disadvantage in career prospects by working harder than men.

If people learn to adapt to their limited opportunities, for Sen it would be “ethically deeply mistaken to attach a correspondingly small value to the loss of well-being because of this survival strategy,” and he suggests that “the metric of happiness may, therefore, distort the extent of deprivation in a specific and biased way” (Sen 1987, 45). Thus, to evaluate people’s well-being in terms of capabilities and functionings guarantees a more objective picture of people’s life. For Nussbaum (2000), preferences are not exogenous; unequal social and political circumstances give women unequal human capabilities: “Burdened, often, with the ‘double day’ of taxing employment and full responsibility for housework and child care, they lack opportunities for play and the cultivation of their imaginative and cognitive faculties” (2000, 220). Thus, she suggests that they may be under considerable social pressure to say they are satisfied despite the lack of these things.

In short, the concepts of functionings and capabilities enable us to analyse the situation and position of women from the angle of their levels of objective well-being. We argue that the main added value of the CA is to provide information about the implications of the use and access of technology in relation to the real freedoms people can enjoy. And this is particularly relevant for analysing gender inequalities, at least for the three following aspects:

- *Gender inequalities in technology access*: the conversion of technological inputs, such as energy, differs between men and women. For example, illiterate women cannot read at night despite having light. Also, technology users differ in intersecting dimensions. These include personal differences such as enthusiasms for technological resources, and social differences—for instance, the extent to which race, ethnic, or gender differences are salient

with regard to technology. So human diversity is stressed in the approach by the explicit focus on personal and socio-environmental conversion factors that make possible the conversion of technological resources into functionings, and on the social, institutional, and environmental context that affects the conversion factors and the capability set directly.

- *Possibility to analyse intra-household inequalities caused by technology:* by focusing on the capabilities and functionings of individuals, it is possible to analyse gender inequalities within families. If having light allows the family to obtain economic resources—for instance, selling juice from an electric blender—a normative analysis through the capabilities lens would interrogate the distribution of these resources and the consequences for each family member.
- *The multidimensionality of well-being:* the inclusion of dimensions such as spirituality, leisure, community participation, labour care, housework, and so forth, will reveal the consequences of the introduction of a given technology in terms of what people really value. This is particularly relevant in the case of women because they perform many non-market duties. Thus, the approach extends the basis of information of technological interventions and their consequences.

Since the CA seems to be an interesting framework for analysing technological aid projects, in the following section we briefly describe the field methodology implemented to operationalise the approach.

2.3.4 Methodology for Electrification Projects Analysis Using the Capabilities Approach

Four electrification projects implemented by the NGO Practical Action were analysed during fieldwork. The general characteristics of the projects are shown in Table 1.

Table 1: Electrification projects analysed in Cajamarca (Peru).

Community	Technology	Installed power	Beneficiary households
Alto Perú	Micro wind network	2 kW	11
Chorro Blanco	Micro hydro plant	20 kW	37
Campo Alegre	Individual solar and wind energy hybrid	20 x 0.15 kW	20
El Regalado	Micro hydro plant	12 kW	31

Source: the authors.

Practical Action planning and management of electrification projects can be checked in Fernández-Baldor et al. (2013) and Ferrer-Martí et al. (2012). In this article we focus on finding out the relationship between the electrification projects and expansion of capabilities, particularly with reference to gender issues.

The main feature of the fieldwork was the fact that it was co-designed with Practical Action, from the research objectives to the workshops structure, the communities' selection, the field visits and the discussion of research results. The contributions of Practical Action staff, particularly the team of sociologists, were key to refining the fieldwork methodology in the communities. Another important aspect to highlight was the participatory character of the methodology. Table 2 displays

the main characteristics of the fieldwork in the communities with techniques used and their objectives.

Table 2: Communities fieldwork

Methodology	Technique	Data to gather
Focus group	Open questions on the electrification project and the community organization	Social conversion factors; analysis of the goods and services provided by the project.
	Timeline	Community history; project relevance for the community
Participatory workshop	Women's workshops and men's workshops	Things people value; relationship between the project and the things people value
	Ball dynamic	Find out the effects of the electrification project
Individual interviews	Semi-structured questionnaire	People's life history; Focus on individual capabilities; Find out relevant personal data related to the project process (participation, equity, access, organization, etc.); Find out agency related data (motivations, negotiation, participation in important decision-making, sense of community, etc.)
	Uses of time	Women's chores and men's chores (before and after the project)

Source: the authors.

The methodology has an important gender component. Firstly, the participatory workshops took place separately in each community, one for women and another for men. This allowed women to express themselves freely without their husbands present. Secondly, the Uses of Time technique was applied during the individual interviews to monitor the differences between women's and men's chores. In addition, the work of the focus groups provided information about women's access to posts of responsibility in the community, as well as about their access to, and participation in, the electrification project.

The participatory workshops in the communities were the key tool for the collection of information regarding the things people value and their relationship to the project. The main question discussed by the participants during the first meeting was: *what are the things or opportunities you would like your children to enjoy in the future?* The objective of asking this question was to determine the things people value in their lives. The second part of the workshop focused on the positive and negative effects of the electrification project. The participants were asked to complete the following sentence: *"I like the project because now..."* and *"I don't like the project because now..."* Then links were established between the things people valued and the effects of the project. The workshop ended with a group reflection on how the project impacts on the things people valued.

It is important to highlight that more men participated in the workshops than women. This is caused by the fact that generally the representative from Practical Action that coordinates the community visits and the contact person in the community are both men. Consequently, women's preferences and possibilities of participation are not taken into account. In some cases the workshops took place at the time of the day when the women were preparing their husbands' lunch or milking the cows. This problem was addressed by adapting in situ the timings of the activities to the women's availability, and increasing the number and depth of individual interviews to women.

2.3.2 Results: Gender Inequalities in Electrification Projects

According to Practical Action (ITDG 2007), the projects provide different benefits to the communities: reduced air pollution as they substitute candles or kerosene for electricity; improved

access to communication through television and radio; the possibility of night study under appropriate light; the use of computers and audiovisual equipment in schools; and improvement of local medical centre equipment. There is also some cost-saving for people because the cost of electricity is lower than that of candles, kerosene and batteries. Finally, the productive use of energy in local business such as restaurants, hostels and mills can improve production and sales, and can thus provide an economic benefit for the community.

The fieldwork research confirms those benefits but also, using the CA, detects an expansion of the capabilities in other areas not considered by Practical Action. Some participants from the Campo Alegre community highlighted the fact that the project enabled them to establish connections with other people, to read the bible at night-time or to discover new professions through television. In the Alto Peru community, the participants valued the availability of light for their own security at night against robbery as well as the opportunity to celebrate night assemblies, which increased community participation. In the Chorro Blanco community, the participants emphasized that the light made their community more attractive, reducing the emigration of the young as well as enabling people from other communities to settle in the area. Also, in El Regalado the participants felt that electric lighting had promoted an increased sense of collective dignity: “*We are not envious of city life*” was a statement in one of the workshops.

However, technological projects can generate inequalities and this has to be taken into consideration when planning this type of intervention. On one hand, the fact that not all families enjoy electric lighting can provoke some discord in the community. While the beneficiary families acknowledge the strength acquired with the project, those without the service were left behind. On the other hand, it was easy to find out gender inequalities within families.

We are interested in taking an in-depth look into gender inequalities caused by the projects. First, the presence of light in homes increases the number of activities that can be performed throughout the day, but the type of activities differs greatly between the genders. It is commonplace for men to watch television or play an instrument at night time while women knit or sew until late. Therefore men extend their leisure time while women extend their working time. However, women affirm their happiness in being able to complete these chores and thus improve their families’ welfare. It seems that we are facing a woman’s adaptive preference because, as Iversen (2003) pointed out, they sacrifice her own personal well-being for the sake of the household. Moreover, the research analyses the well-being of women in terms of capabilities and functionings, revealing that men are freer than women in pursuing things they value (e.g. studying at night or participating in community assemblies). Thus, according to Nussbaum (2000, 220): “*they [women] lack opportunities for play and the cultivation of their imaginative and cognitive faculties.*”

Another issue highly valued in the workshops was religion; in particular, reading the bible and the possibility of watching religious movies. Men can read the bible and watch religious movies at night-time, enjoying their spiritual development. However, women are not able to take advantage of this in the same way. The high level of illiteracy among women prevents them from reading the bible. And, as stated before, the increase in their domestic night chores does not leave them time for the development of their spiritual life or other such pastimes.

The research also shows inequalities in the opportunities to participate in the community. Women mention their lack of time or possibilities to attend meetings or assemblies at the times they are proposed: “*We cannot take children to the meetings*” or “*meetings are very early and we have to*

milk the cows” were answers given during the interviews by one woman in Alto Perú and another in Campo Alegre. In this respect, the research identifies the lack of mechanisms applied by Practical Action team to improve women’s access to participation spaces.

On the other hand, when women attend meetings they tend to adopt a listening role instead of an active one. This is confirmed by some testimonies such as that by the APAFA President (a parents’ association) in Chorro Blanco who explains why she does not speak during the meetings: *“Sometimes I feel a bit shy, I cannot find the words and that’s scary.”* Another woman in Alto Perú explains: *“I would have liked to give my opinion but it was my husband who gave it.”* However, there are illiterate men who do feel free to participate actively in the meetings.

Practical Action project planning includes two types of training: one directed towards the final users, and another towards the operators and administrators. In the first type, it has been observed that the acquisition of technical knowledge about the electrical systems improves the population’s self-esteem. But who attends the training meetings? Again it is the male population that can take advantage of this project resource: *“We have enough knowledge to look after the equipment. If it does not work, it is because it has not been looked after properly”* or *“if we pay less there won’t be money to buy batteries”* are men’s comments expressed during the leaders workshops in Alto Perú. These comments give evidence of the appropriation of knowledge by the men. Alternatively, in the cases when women claim to have learnt something about the operation or maintenance of the systems it is because their husbands taught them: *“Only my husband took part in the training”* or *“I did not learn, it was my husband,”* explained two women from Alto Perú and Chorro Blanco.

The second type of training for operators and administrators is restricted to men and is the type of training that actually increases capabilities. *“I feel more valued,” “I feel more appreciated by the community”* or *“I like to be an operator because I learn more. Knowing something, I can go and work as an electrician anywhere”* are some of the answers given by the interviewees who were receiving training to be operators or administrators in the community. However, women do not have access to these posts of responsibility for various reasons. Firstly, these are traditionally male posts. In the rural context of Cajamarca it is assumed that any technical post belongs to men. Men are in charge of building the infrastructure for the hydro power plant while women carry materials and prepare the food. This, together with a lower level of education for women and the timetable incompatibility of the training sessions for operators and administrators, hinders the expansion of the capability set of women.

Finally, the workshop results and the interviews reveal that most projects did not generate women agency. In some cases, there are indications of the potential of training to strengthen agency. This is the case for the Mayor in Alto Perú, who explains: *“We need training to become stronger. If we are not trained we don’t know how to claim.”* Obviously if women cannot attend the training sessions, agency improvement will not take place for them.

2.3.6 Contributions of the Capabilities Approach to Practical Action Project Planning

The following are some of the recommendations proposed to Practical Action, which were discussed and produced together with the people responsible for the energy programme in Cajamarca, their technicians and also staff from other NGOs linked to the organization. Our intention was to offer realistic recommendations, relevant to the context in Cajamarca and feasible

for the organization to put into practice, sacrificing more radical options, related for instance to gender, but extremely difficult to implement.

The first suggestion to Practical Action is to include a different type of information when planning projects. Presently, and following World Bank recommendations [*personal comment of one the main officers in Peru*] they gather socio-economic quantitative information. This has proved to be not sufficient, and it would be appropriate to gather information about values, customs, gender roles, and leadership in the community, amongst others. This means that Practical Action technicians need to have the skills required for this.

It is also necessary to increase community participation in all stages of the project cycle. Previously, diagnosis and technological choice have been carried out by Practical Action, selecting individual or collective technological alternatives based on their own criteria. However, we believe that it should be possible to organize training activities to provide community members with information about the identification and management of natural resources through technology. Regarding project implementation, we have identified low levels of attendance at meetings and community assemblies due to timetable incompatibilities with the work duties of most community members, as so far the meetings were planned by Practical Action staff. To solve this problem, we would advise that the community itself defines the timings of the meetings, and that Practical Action staff adapt to them instead of the other way round.

We also recommend including specific activities to deal with gender inequalities. To this end an allocated budget is necessary to ensure the availability of gender resources during the project. It would also be good to have specific gender indicators to assess the projects' success in this respect. In particular, it would be very useful to instigate the following:

- Appoint a female coordinator to plan the meetings with Practical Action and in doing so take into proper consideration women's availability. This position of responsibility would also increase their agency.
- Include women in the posts of responsibility. One option could be to establish a quota of women's participation in the microenterprise and supervisory board, which will make them visible and ensure their representation, as well as improve gender equity. Another option, which could transform power structures, would be to impose that either the operator or the administrator were a woman. This would help the community realize that women can perform both in technical and administration posts, thus improving women's agency. The same method could be applied to the construction of infrastructure or the installation of energy systems where women could also become visible and perform the same tasks as men.
- Organize separate meetings or workshops for men and women to ensure women's participation, because it has been proven that power imbalance restricts women from publicly expressing their personal, political or ideological opinions.
- Offer specific training for women and their organizations. This would reinforce their self-esteem and also their ability to discuss issues in public, giving them the confidence to actively participate in the meetings.

2.3.7 Conclusions

The research has revealed the limitations of interventions focused solely on supplying technology, electrification in this particular case, without taking into account certain elements that can make the use of technology contribute unequally to the expansion of people's capabilities. In the projects analysed in this research, the most relevant factor explaining these inequalities is gender, which needs to be urgently addressed by Practical Action when planning their projects. Thus, most of the recommendations of the previous section are aimed at helping Practical Action promote a more even expansion of people's capabilities.

This study also confirms the potential of the CA to complement other approaches—such as Appropriate Technologies or the Sustainable Livelihoods Approach—by providing information about the implications of the use of and access to technology in relation to the real freedoms people can enjoy. As this study shows, this is particularly relevant when analysing gender inequalities.

This research also has certain limitations. It has not analysed, for instance, the development of children's capabilities due to limitations of time and resource. Likewise, the case studies could be extended to other communities and other types of technology. Research currently in progress is taking into consideration these limitations, trying to look in depth into the aspects missing in this article. It is therefore a living collaborative process between an NGO and the university, which will hopefully contribute to the improvement of technological interventions and offer some clues in how to use all the potential of the CA for development.

2.3.8 References

- Agarwal, B. (1994). Gender and Command Over Property: A Critical Gap in Economic Analysis and Policy in South Asia. *World Development*, 22(10), 1455–1478.
- Benecke, G. (2008). Success factors for the effective implementation of renewable energy options for rural electrification in India – Potentials of the clean development mechanism. *International Journal of Energy Research*, 32, 1066–1079.
- Breyer, Ch., Gerlach, A., Hlusiak, M., Peters, C., Adelman, P., Winiecki, J., Schützeichel, H., Tsegaye, S. & Gashie, W. (2009). Electrifying the poor: Highly economic off-grid PV systems in Ethiopia – A basis for sustainable rural development. *24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*.
- Borges, K., Walter, A. & Rei, F. (2007). Cdm implementation in Brazil's rural and isolated regions: the Amazonian case. *Climatic Change*, 84(1), 111-129.
- Chaurey A, Ranganathana, M. & Mohanty, P. (2004). Electricity access for geographically disadvantaged rural communities – technology and policy insights. *Energy Policy* 32, 1693-1705.
- Clark, D. (2012). Adaptation and Development – Issues, Evidence and Policy Relevance. In D. Clark (ed.) *Adaptation, Poverty and Development. The Dynamics of Subjective Well-Being* (pp. 1–34). Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Energy Sector Management Programme (ESMAP) (2001). *Peru: Rural electrification*.

- Fernández-Baldor, A., Boni, A., Lillo, P. & Hueso, A. (2013). Are technological projects reducing social inequalities and improving people's well-being? A capability approach analysis of renewable energy-based electrification projects in Cajamarca, Peru. *Journal of Human Development and Capabilities*, DOI: 10.1080/19452829.2013.837035
- Ferrer-Martí, L., Garwood, A., Chiroque, J., Ramirez, B., Marcelo, O., Garfi, M. & Velo, E. (2012). Evaluating and comparing three community small-scale wind electrification projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 5379–5390.
- Gaspar, D., & I. van Staveren (2003). Development as Freedom – and as What Else? *Feminist Economist*, 9 (2–3), 137–161.
- Gomez, M. & Silveira, S. (2010). Rural electrification of the Brazilian Amazon – achievements and lessons. *Energy Policy*, 38, 6251–6260.
- Gouvello, C. (2002). *The limitations of the conventional grid: Bank on complementarity*. Decentralised Rural Electrification: An Opportunity for Mankind, Technique for the Planet, pp. 127–138.
- ITDG (2007). *Organización de servicios eléctricos en poblaciones rurales aisladas*. Serie de Manuales de Soluciones Prácticas, n° 32, ITDG. Lima: Soluciones Prácticas.
- Iversen, V. (2003). Intra-household Inequality: A Challenge for the Capability Approach? *Feminist Economist*, 9 (2–3), 93–115.
- Kaundinya, D., Balachandra, P. & Ravindranath, N.H. (2009). Grid-connected versus stand-alone energy systems for decentralized power—a review of literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2041–2050.
- Nguyen, K. (2007). Alternatives to grid extension for rural electrification: Decentralized renewable energy technologies in Vietnam. *Energy Policy*, 35, 2579–2589.
- Nussbaum, M. C. (2000). Women's Capabilities and Social Justice. *Journal of Human Development*, 1(2), 219–247.
- Pasternak, A. (2000). *Global energy futures and human development: a framework for analysis*. Lawrence Livemore National Library.
- Qizilbash, M. (1997). A Weakness of the Capability Approach with Respect to Gender Justice. *Journal of International Development*, 9(2), 251–262.
- Qizilbash, M. (2006). “Well-being, Adaptation and Human Limitations.” Royal Institute of Philosophy Supplements 81: 83–110.
- Robeyns, I. (2000). *Un Unworkable Idea or a Promising Alternative? Sen's Capability Approach Re-Examined*. Discussion Paper No. 00.30. Leuven: Katholieke Universiteit.
- Robeyns, I. (2003). Sen's Capability Approach and Gender Inequality: Selecting Relevant Capabilities. *Feminist Economist* 9(2–3), 61–92.
- Robeyns, I. (2005). The Capability Approach: A Theoretical Survey. *Journal of Human Development*, 6, 93–117.

Robeyns, I. (2008). Sen's Capability Approach and Feminist Concerns. In Comim, M. Qizilbash, & S. Alkire (ed.) *The Capability Approach. Concepts, Measures and Applications* (pp. 82–104). Cambridge: Cambridge University Press.

Sen, A. (1987). *On Ethics and Economics*. Oxford: Blackwell.

Sen, A. (1992). *Inequality Reexamined*. New York; Oxford: Russell Sage Foundation; Clarendon Press.

Sen, A. (1999). *Development as Freedom*. New York: Oxford University Press.

Sen, A. (2009). *The Idea of Justice*. London: Allen Lane.

Teschl, M., & F. Comim. (2005). Adaptive Preferences and Capabilities: Some Preliminary Conceptual Explorations. *Review*

2.4 Assessing management models for off-grid renewable energy electrification projects using the Human Development approach: case study in Peru

2.4.1 Keywords

Off-grid rural electrification

Management model

Human development approach

2.4.2 Introduction

Access to electricity is considered to be a key factor in reducing poverty, especially in rural areas, where development indices are usually low (for example, Gomez et al., 2010; Pasternak, 2000; Borges et al., 2007; Kooijman-van Dijk and Clancy, 2010; Valer et al., 2014; Nerini et al., 2014; Shyu, 2014; Groh, 2014). As in most countries (Bhattacharyya, 2012), the Peruvian government's current strategy to increase rural electrification is oriented towards the expansion of the national grid. However, the degree of isolation of non-electrified rural communities represents a significant barrier to access to this service due to higher investment costs, limited capacities of operation and maintenance (Palit, 2013) due to a lack of education and access to information (ESMAP, 2001), and low consumption rates (Gouvello, 2002). Isolation is particularly prevalent in Peru because its varied and complicated geography includes a wide mountain range and vast areas of rainforest.

In such contexts, small stand-alone systems for energy generation, especially renewable energy (RE) based systems, represent a suitable alternative for providing electricity to the rural population (Nguyen, 2007; Breyer et al., 2009; Benecke, 2008; Chaurey, 2004; Lhendup, 2008). Studies show that the following are some of the advantages of decentralised models: the use of local resources and the avoidance of costly and inefficient transmission losses (Benecke, 2008), suitability for low-load factor projects (Kaundinya et al., 2009), independence from fuel supply and respect for the environment (Nguyen, 2007), and the provision of energy independence for users (Hiremath et al., 2009; Akorede, 2010). In addition, these systems can be managed locally, enabling the generation of local jobs and the participation of local people in decision making (Sánchez, 2006). In particular, ESMAP (2001) states that *“although it is true that all aspects (legal framework, finance, technology, and so forth) are important for improving the rural population's access to electricity, the continuity of the service (that is, the system's sustainability) can only be assured if its management models are functional and efficient”*.

In this article, we analyse microenterprise management models focusing on factors that are not usually analysed or that were considered to a lesser extent in previous evaluations. In particular, we use the Human Development (HD) approach, which enables us to extend the analysis on various key dimensions of development that should be considered in the process of implementing a management model. Thus, the base of information (Sen, 1999) used to assess the impacts of such projects and improve the planning is enhanced to maximise the chances of future success.

In particular, we focus on an analysis from the HD approach of the microenterprise management model for stand-alone rural electrification systems with RE developed by the Non-Governmental Organisation (NGO) Practical Action (PA) in the northern Peruvian Andes that is specially

designed to promote the development of poor rural communities. The analysis has been conducted in the region of Cajamarca, in the northern Peruvian Andes. Five RE electrification projects in isolated rural communities implemented by PA have been studied, whose management model of these projects will be described in detail.

The paper is structured as follows. Section 2 describes how management models have been analysed by other authors and the management model of PA. Section 3 describes the methodology used. Section 4 presents the results obtained. Section 5 discusses the results and makes recommendations based on the HD approach. Finally, Section 6 highlights the conclusions of the investigation.

2.4.3 Management models of isolated rural electrification projects

2.4.3.1 Literature overview

There are numerous management models of stand-alone electrification systems, among which the most common are those managed privately, cooperatively, or by state or local municipalities or communities. These models have different characteristics in terms of ownership of the systems, level of user participation, responsibility for operation and maintenance of systems, user involvement in infrastructure construction and installation of equipment, management of tariff payments, etc. (ESMAP, 2001).

Given the importance of management models in stand-alone rural electrification projects with RE, various studies have analysed them, including that designed by PA. ESMAP (2001) analysed management types based on whether the system is owned by the state, municipality, the community, or cooperative or private interests in 12 communities in Peru, evaluating the service quality and economic aspects of each system. Yadoo and Cruickshank (2010) analysed cooperatives as a management model in USA, Bangladesh, and Nepal, focusing on their technical and economic feasibility and sustainability while also considering the effect of public participation and the promotion of equity and empowerment that such a model can create.

Regarding PA's management model, Sanchez et al. (2006) performed a comparison between governmental, municipal, private, and community management models in Peru. He focused on technical and economic sustainability, concluding that the most successful is the microenterprise model implemented by PA. Ferrer-Martí et al. (2012) studied three projects in the Peruvian Andes using the microenterprise management model employed by PA, taking into account the benefits of the projects in terms of new resources or services, as well as the technical and economic sustainability of the systems, and concluded that the management model is generally satisfactory in the three communities. Yadoo and Cruickshank (2012) analysed three projects in Peru, Nepal, and Kenya with different management models. The organisational dimension, capacity strengthening, client relationships, and stakeholder participation were evaluated. In this analysis, the project implemented by PA was the highest rated in the social and institutional dimensions.

However, there might be limitations on the different management models analysed that have escaped the attention of the authors of previous studies due to the use of an approach excessively centred on technical and economic aspects, without addressing in depth the impact these projects have on people's lives beyond the provision of material and economic resources. As we will

highlight further, by using the HD approach, it is possible to identify, analyse, and propose strategies to substantially improve the impact of this type of intervention regarding development promotion.

2.4.3.2 Description of the Practical Action Management Model

The analysed management model was designed and promoted by PA, which is an international technical cooperation NGO that has been operating in Latin America since 1985. PA has developed a management model (Ferrer-Martí et al., 2010; 2012) whose main objective is the efficient financial and technical long-term operation of small isolated power systems. In this management model, the owners of the systems (generally the district municipality) give responsibility for operation, maintenance, and administration to a private local microenterprise (managed locally by the members of the community) on a medium or long-term contract.

The management model is composed of different actors, including the microenterprise, users, and the municipality (Ferrer-Martí et al., 2012).

- **Users and control unit:** Each user is required to pay a monthly tariff that covers the maintenance of the equipment and has the right to attend monthly financial review assemblies. Furthermore, the community periodically evaluates the performance of the microenterprise and either re-elects the current operator-administrator or appoints a new person to run it. Moreover, a **control unit** elected by the assembly and composed of local people, mainly authorities, is responsible for overseeing the administration of the microenterprise (use of tariffs, non-paying clients, quality of service, etc.) to ensure compliance of user obligations and address their complaints or suggestions.
- **Microenterprise:** The microenterprise is composed of one or more of the residents of the community. In each community, there is usually an operator and an administrator who are responsible for operation, preventive and corrective maintenance, and the collection of monthly tariffs. This tariff provides a reserve fund, which is deposited in a bank account, and gives the microenterprise a monthly sum to replace equipment when it reaches the end of its operational life.
- **Municipality:** The legal owners of the systems are the municipalities. The municipality signs a concession contract assigning the service management to the microenterprise; thus, it cannot interfere with day-to-day operations. However, as the legal owner, the municipality shares responsibility for replacing equipment when needed, so it must add to the community reserve fund if this reserve is insufficient, reinforcing the sustainability of the system without reducing users' responsibility.

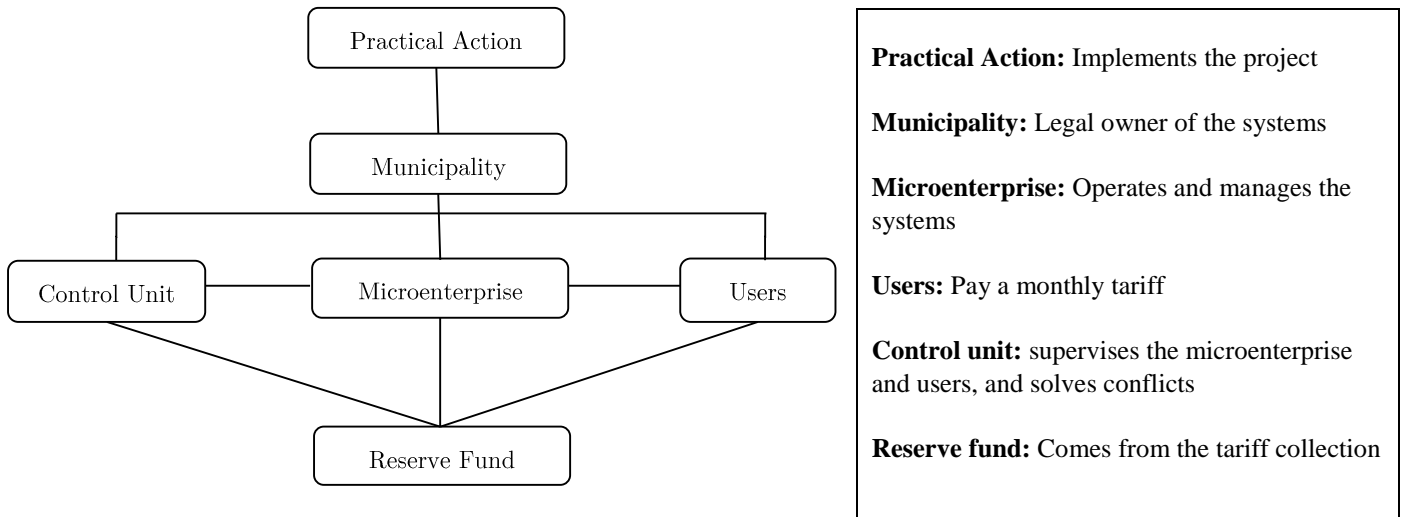


Figure 1. General scheme of the Practical Action management model. Adapted from Ferrer-Martí et al. 2010.

The design and implementation of the management model is performed in parallel to the development of the project, from identification to implementation. Below, we present the activities relating to the management model that are developed at the different stages of the rural electrification project:

- **Initial phase. Identification and design:** First, the community and the type of electrification project that could be developed are identified with a socioeconomic and local resource availability analysis predominantly based on quantitative information. Strong emphasis is put in this phase, as the lack of these data can result in errors when determining household energy needs, and thus minimizing users' satisfaction levels (Shyu, 2013). PA usually prioritises those projects that have been demanded by the communities themselves to ensure higher levels of motivation by the population. However, PA sometimes proposes the implementation of a rural electrification project to communities.

Once the project is defined, PA begins the technical design in parallel with the design of the management model. Although the base of the management model is almost standardised, some details must be defined depending on the technology and socioeconomic characteristics of the community. In particular, the composition of the microenterprise and the type of tariff must be determined. In the latter case, PA makes an initial proposal based on an analysis of each family's expenses for candles, batteries, kerosene, etc. The tariff must be lower than this expenditure to ensure that users can pay. Once the proposal is launched, the assembled population decides whether the proposal is appropriate and may propose an alternative, which must be approved by the PA technical team.

- **Development phase. Installation and training:** In this phase, the operator and administrator of the microenterprise are selected and trained to take over operation and maintenance. First, the community itself nominates candidates for these posts, who participate in a comprehensive training program that covers both administrative and technical skills and usually takes place in the CEDECAP (Demonstration and Training

Centre in Appropriate Technologies) in Cajamarca (Escobar et al., 2012) or in a close community with a similar electrification project, allowing operators/administrators to share their experiences with future operators/administrators. At the end of this training program, community leaders and PA technicians select the best candidates based on test scores and other criteria, such as community involvement and reputation.

In addition, users receive training on the efficient use of energy, maintenance tasks, basic operation of equipment, the management model, the tariff scheme, fines for non-payment, etc. The theoretical lessons normally take place at the school, and hands-on practice is undertaken during the systems installation. Involvement and collaboration by the entire community in the construction of infrastructure and installation of the systems are specially promoted so that villagers' identification with the systems will increase (Drinkwaard et al., 2010).

- **Operational phase. Technical maintenance and financial management:** Once the systems are in operation and the capacities of the population to perform technical maintenance and financial management have been strengthened, power is made available. Monthly monitoring and decision-making community meetings are set up, relying on the involvement of the control unit to ensure proper operation of the systems and management model.

2.4.4 Methodology

In this paper, we have used the four pillars of the HD approach described below as the base of information for evaluating the management model in five stand-alone electrification projects in rural communities in Cajamarca implemented by PA. These communities use the management model described in Section 2.2, with financial support from the respective district municipalities. To enhance the analysis, we selected communities close to each other, with similar socioeconomic and cultural characteristics but different energy systems; thus, we minimise the bias that an analysis of projects using only one type of technology might contain.

2.4.4.1 The Human Development approach as a framework for the analysis of technological projects

The HD approach is a very appropriate framework for conceptualising technological interventions because it provides a more extensive and complete vision of the development processes. The basic purpose of HD is to increase people's opportunities, as opposed to simply promoting economic growth or improving the living conditions of the population.

The HD approach is based on four fundamental pillars that must support any strategic development action to achieve what we mean by success: expanding opportunities for people and transforming them into agents of their own development (ul Haq, 1995). These four principles are as follows:

- **Equity and diversity:** People should enjoy equal access to opportunities, and their diversity must be recognised. Developing inequity means restricting the choices of individuals in a society. According ul Haq (1995), in many cases, equitable access to

opportunities requires a fundamental restructuring of the establishment.

- **Sustainability:** What HD means by sustainability should not be understood as the indefinite preservation of resources but rather as the preservation of the same level of welfare for future generations. This understanding of sustainability refers not only to environmental sustainability but also to something wider, namely, the sustainability of human, physical, and financial capital.
- **Empowerment:** People are not understood as objects but as subjects of development and should be able to freely make decisions that affect their lives, which implies economic liberalisation, avoiding excessive economic controls and regulations; decentralisation of power so that governance rests with each person; and full participation of the population in the elaboration and implementation of decisions.
- **Productivity:** Economic growth is also critical for HD, so an environment where people can be productive through the creation of sustainable livelihoods is necessary. However, it must be remembered that people are not only the means but also the ends of development, so productivity should be treated only as one aspect of HD, with the same level of importance as the other three.

In the field of technology, there are several authors who emphasise the usefulness of the HD approach in the design and planning of technological projects. Dong (2008) argues that, from a social justice perspective, one should pay attention to the capacity of citizens to design and play an active role in the transformation of their lives. Similarly, Oosterlaken (2009) proposed that technical designs are very important because of their impact in terms of HD. Gomez and Silveira (2010) analyse the process of rural electrification in the Brazilian Amazon, in which the Human Development Index is used to prioritise and analyse the impact of rural electrification projects. The authors conclude that the HD approach is appropriate in this type of projects.

Moreover, in the analysis of specific projects, Oosterlaken et al. (2012) analyse a project of podcasting devices for farmers in Zimbabwe and find the key to success for the project was an attention to the diversity of users and their participation in the project. In the field of RE, Fernández-Baldor et al. (2012) compare three microhydro rural electrification projects in Guatemala and Bolivia. The results varied based on the different levels of user participation; despite using the same technology and a similar management system, satisfactory results were only obtained in the project in which the community was involved and motivated from the beginning.

2.4.4.2 Description of the case studies

The analysis is based on 5 projects that use different technologies: microhydro power plants, PV systems, wind generators and hybrid systems in individual or microgrid distribution systems. The energy source and distribution options implemented in each project depend on the available resources and the structure of the community. In general, when water resource is sufficient, PA always considers the microhydro power as the first option, since these systems are usually the lowest cost option for off-grid rural electrification (Coello et al., 2006; Kaygusuz, 2011; REN21,

2008; Williams and Simpson, 2009), are reliable for off-grid systems (van Els et al., 2012), and the energy is continuously available (Drinkwaard et al., 2010), . If water resource is not available, photovoltaic (PV) or wind systems are used, depending on resource availability, as their suitable to provide decentralized electrical service to rural households (Bugaje, 2006; Jacobson, 2007; Hiremath, 2009; Chaurey and Kandpal, 2010a, 2010b; Ferrer-Martí et al., 2012; Valer et al., 2014). Regarding the choice between individual or collective systems, it must be noted that stand-alone systems usually have low capacity factor, high battery costs and limited capacity to store energy (Khan and Iqbal, 2005; Kaundinya, 2009). For that reason, if houses are close to each other, thus reducing the cost of the microgrid infrastructure, it is technically and often economically advantageous to install microgrids instead of individual systems to reduce the impacts of these inconveniences. However, if houses are far from each other the cost of the microgrid can be much higher than individual systems, thus limiting the economic feasibility of this alternative.

The characteristics of the five studied projects are briefly detailed below:

- **Alto Perú:** A community with 51 families. Due to the high level of dispersion between households in this community and the variability of available energy resources, different electrification systems were installed in different areas. First, a microhydro power plant was installed to serve four households and the school, which were located close to each other and near to the only small waterfall in the community. Second, in the upper area of the community, where wind resource is high and houses are located close to each other, a wind microgrid fed by locally manufactured wind turbines was installed (Leary et al., 2012). Third, 40 households located in the lower area of the community, where there is no water resource available, wind is scarce, and there is a huge dispersion rate, were electrified with individual solar photovoltaic systems. Finally, a PV microgrid for four families, and a health centre and a restaurant, which were located close to each other in an area with no wind or water resource, was constructed. All the systems operate on AC, and there are three operators and one administrator for all the systems. The monthly tariff that each user must pay depends on consumption, with a baseline of 13 Nuevos Soles (NS).¹⁷ The tariff becomes cheaper (per unit) with higher consumption to encourage small businesses (decreasing block tariff).
- **Suro Antivo:** A community with 60 families. Since water resource was abundant in this community, a microhydro power plant was installed to provide electricity for households and the school. The project was executed in two phases, with 45 households electrified first, followed by the remaining 15. All the systems operate on AC, and there are two operators who alternate monthly and an administrator. The monthly tariff that each user must pay depends on consumption, with a baseline of 10 NS (decreasing block tariff).
- **Chorro Blanco:** This community, which also has sufficient water resource, has 37 families electrified with a microhydro system. All systems operate on AC, and there is one operator and one administrator. The monthly tariff that each user must pay depends on consumption, with a baseline of 10 NS (decreasing block tariff).

¹⁷ Exchange rate one dollar/Nuevo Sol is approximately 2.60.

- **Campo Alegre:** In this community, where no water resource was identified and houses are located far from each other, individual hybrid PV-wind systems were installed in 20 households. The combination of these two technologies was defined to provide a more reliable service than a one single technology system (Bhattacharyya, 2012; Hiremath et al., 2009). All systems operate on DC, and there is one operator and one administrator. The monthly tariff that each user must pay has a flat rate of 14 NS.
- **El Regalado:** Since water resource was sufficient in this community, a microhydro system was installed to provide 31 families with access to electricity. All systems operate on AC, and there is one operator and one administrator. The monthly tariff that each user must pay depends on consumption, with a baseline of 10 NS (decreasing block tariff).

Community	Technology	DC/AC	Number of operators	Number of administrators	Monthly tariff baseline (NS)	Beneficiary families	Project Finish Date
Alto Perú	- Wind microgrid - PV microgrid - Microhydro - Individual PV	AC	3	1	13	51	June-09 (1st phase) Sept-10 (2nd phase)
Suro Antivo	Microhydro	AC	2	1	10	60	Oct-10 (1st phase), Aug-2012 (2nd phase)
Chorro Blanco	Microhydro	AC	1	1	10	37	May-10
Campo Alegre	Individual hybrid wind and PV	DC	1	1	14	20	May-08
El Regalado	Microhydro	AC	1	1	10	31	Dec-09

Table 1. Comparison of analysed projects

Note that as beneficiaries, we have included both the owners of the house as well as ‘mitayos’ (families who live in the house of their employer to look after livestock and land in exchange for a salary when the owners migrate to the city).

2.4.4.3 Field methodology

To perform an evaluation using the HD approach, we considered it appropriate to mainly collect qualitative information by means of participatory techniques. The qualitative paradigm has the advantage of introducing the analyst to the phenomenological complexity of the world, with all its connections, correlations, and causes. Moreover, according to Cook et al. (2005), qualitative and participatory methods should be used to help gain insight on energy projects. For these

reasons, the methodology used in the field work is based on semi-structured interviews, focus groups, participatory workshops, and participant observation. It should be noted that we have sought to obtain information from multiple actors using various techniques to properly triangulate our findings and ensure their validity.

The field work of the evaluation was developed between July 2011 and December 2012, one to three years after the installation of the systems, allowing enough time to analyse the autonomous functioning of the management model.

Table 2 summarises the field methodology employed:

Methodology	Information to be obtained
Participant observation	Organizational level of the population, motivation, and involvement of users
Focus group with leaders and authorities	Initiative of the project, community participation in the different phases of the project, user motivation and involvement, technical role of PA and technology transfer process, processes of empowerment.
Participatory workshops with men and women separately	Project impacts on lives
Individual interviews with users, operators, administrators, leaders and members of the control unit	Establishing how that person has participated throughout the project (training, meetings, etc.), and discovering the level of knowledge about the systems and the management model

Table 2. Description of the methodology employed

Table 3 presents the number of people who participated in the participatory workshops, focus groups, and individual interviews in each of the communities. A total of 161 users participated in this study, 90 men and 71 women. We also interviewed six members of the Practical Action technical team to understand the institutional vision regarding the management model in depth.

	Focus group with leaders		Participatory workshops		Individual interviews	
	Men	Women	Men	Women	Men	Women
Alto Perú	4	4	-	5	13	4
Suro Antivo	2	1	-	-	6	3
Chorro Blanco	7	1	8	15	9	9
Campo Alegre	4	1	20	7	5	6
El Regalado	-	-	10	10	2	5

Table 3. Number of people who participated in the field research, disaggregated by gender

It should be noted that the methodology was specifically designed to analyse the possible gender inequalities that may exist. First, individual interviews were conducted with both men and women to understand the vision of both. Second, as in Cajamarca, women rarely actively participate in spaces where men are also involved; the participatory workshops, in which people actively expressed their opinions and debated based on their own world view, were performed with men and women separately. Finally, in the focus group with leaders, the facilitators strongly emphasised an investigation of women's ability to acquire positions of responsibility in the community and analysed their degree of participation in all project phases.

2.4.5 Results

To carry out the analysis, we focused on the three main phases of the implementation process of the management model: initial, developmental and operational phase. For each phase, several different indicators were defined, which are consistent with HD and useful in the analysis of each of the four dimensions previously described.

Table 4 presents the most relevant results from the fieldwork for the evaluation of the five projects, focusing on the three main phases of the implementation process of the management model. The last four columns in Table 4 also summarise the main relevant relationships for our analysis between the results of the indicators and each dimension. Next we present the most important issues that were analysed for each dimension.

- **Equity and diversity:** To analyse this dimension we focused particularly on the way vulnerable groups, especially women, are involved in the project, are free to participate in the process of the projects and have access to responsibility positions within the management model. These issues are mostly related to the indicators of initial and developmental phase, in which the process of the project requires participation of the entire population.
- **Sustainability:** In this case, we focused on how people are involved and motivated with the project, so that they will deeply adopt technology. Furthermore, quality of the service, appropriateness of operation and maintenance activities, skill improvement processes, non-payment rates and level of conflicts between inhabitants will be investigated to analyse technical, economical and organizational sustainability. These issues are mostly related to the indicators of the operational phase, in which the systems are already in use, but also to the indicators of the initial and developmental phases, in which involvement and motivation of the villagers are crucial for a sustainable project.
- **Empowerment:** In this analysis we investigated how power positions are managed during the projects, the quality of participation processes, and the ability this projects have had for people to be better organized to stand up for their rights and achieve their aims. These issues are mostly related to the indicators of the developmental phase, in which coordination between inhabitants and local organizations takes place to develop the project.
- **Productivity:** To analyse this dimension we focused on the ability for the technical solutions implemented to meet productive demands, on how businesses were created or improved with electricity, and on local innovations to take advantage of the resources. These issues are mostly related to the indicators of the initial phase, in which needs are defined, and the operational phase, in which productive use of energy can be assessed.

It should be noted that we are in a complex analytical framework where different indicators have influences on the different dimensions of HD. Moreover, the fieldwork methodology was defined to collect a vast amount of information among its different processes. World view, cultural values,

traditions, personal feelings and opinions, etc. were analysed, and this information, which is difficult to reflect in indicators, will also be very important to carry out the discussion and come to conclusions. For that reason, the indicators of Table 4 should not be understood as those of a standard multi-criteria analysis, where indicators are pondered and a final score is obtained, but as a way to structure the analytical process.

Phases of the management model implementation process	Indicators	Results					Analysis			
		Alto Perú	Suro Antivo	Chorro Blanco	Campo Alegre	El Regalado	Equity and diversity	Sustainability	Empowerment	Productivity
Initial phase	Project initiative	PA	Community	Community	PA	PA		X		
	Public participation in technical design of project	No					X			X
	Public participation in design of management model	Only in the definition of the tariff					X			X
	Male participation in meetings	Low	High	High	Medium	Medium	X	X		
	Participation of women and youth in meetings	Low. Generally family representation lies with the male, so the other members of the family do not usually participate to the same extent. In addition, their participation is usually passive, normally limited to listening.					X	X		
	Mechanisms implemented in the design to cater specifically to the most vulnerable	No					X			
Development phase	Working days in the construction and installation of systems per user	1 (PV) 15 (others)	50	50	1	55			X	
	Involvement of women in the installation of systems	Only in the Microhydro system, cooking for male workers	Cooking for male workers	Cooking for male workers	No	Cooking for male workers	X		X	
	Motivation of the population	Low	High	High	Medium	Medium		X		
	Male participation in training for users	Strongly depends on the level of motivation, as well as the distance to the centre from the household where trainings are conducted					X		X	
	Participation of women and youth in training for users	Low. Generally family representation lies with the male, so the other members of the family do not usually participate to the same extent. In addition, their participation is usually passive, normally limited normally to listening.					X		X	
Male participation in operator and administrator training	High, but restricted to those users who can stay at CEDECAP (Cajamarca) for more than one day					X		X		

	Participation of women in the operator and administrator training	No. Women do not have the same freedom as men to leave their home for several days, as they are responsible for family care.					X		X	
Operational phase	Non-payment rate	Medium	Low	Low	Low	Low		X		
	Houses inhabited by 'mitayos'	Yes						X		
	Quality of operation and maintenance in households	Low	High	High	Medium	High		X		
	Quality of operation and maintenance in households inhabited by 'mitayos'	Low						X		
	Quality of service (lack of disruptions)	Low	High	High	Medium	High		X		
	Level of conflicts	High	Low	Low	Medium	Low		X		
	Created or improved businesses	One grocery store	One grocery store	0	0	Two grocery stores			X	
	Municipality participation in monitoring and technical assistance	No							X	
	Community innovations to the management model	No	No	No	The reserve fund is used as a revolving fund	No			X	
New projects carried out by the community	No	Yes	No	No	No			X		

Table 2. Summary of the results from the fieldwork evaluation

2.4.6 Discussion and recommendations

These results, which are based on the four pillars of the HD approach, will be discussed in more detail in the following sections, and strategies to be used in future projects to improve the impact on people's lives will be recommended.

2.4.6.1 Equity and Diversity

2.4.6.1.1 Discussion

PA tends to implement its management model in a standardised way in each community, which limits the ability to cope with the diversity found in each community. Not adapting the management model implies that PA believes that the rights and obligations of all the users are the same, without considering the possible needs of the most vulnerable groups. This attitude is evident, for example, in the community of Alto Peru, where an elderly family with three children with mental disabilities was unable to meet the obligations required to have electricity.

In all communities, PA has worked on the generation of knowledge, conducting training programs specifically designed for local operators, administrators, and users of the systems. While for some of the interviewees, these processes were successful, some weaknesses have been identified in terms of equity of access to these training sessions. First, operator and administrator training is held at CEDECAP in the city of Cajamarca, so villagers have to travel to the city, sometimes staying there several days. Attendees must be away from their livestock and fields, which represents an insurmountable barrier for many people. Such barriers to travel are particularly severe in the case of women, who are entirely responsible for their families' needs and are less able than men to leave home. As a result, many communities find no qualified women for the posts of operator and administrator.

User training was usually performed in assemblies in the communal centre or school. However, this method has shown some weaknesses. Users of the more remote households do not usually attend because of the distance. Furthermore, the people engaged in the training have differing levels of education, and many fail to understand some of the concepts. This issue is especially important for women and young people, because most of them are unable to attend the training sessions and, even if they can, their levels of assimilation of the concepts are usually low. This problem heightens the risk of the system being misused because the people at home who are most in contact with the equipment have the worst understanding. To overcome these weaknesses, in Alto Perú, the approach to user training was modified, and workshops for groups of households were held nearby at appropriate times to enable the participation of women and young people. With this improvement, the attendance of entire families significantly increased, and, with fewer users per session, it was easier to ensure that all participants understood the concepts.

2.4.6.1.2 Recommendations

To improve equity and diversity in future projects, we recommend using a more participatory diagnostic of the community to understand the reality of the population and its socioeconomic and cultural diversity. Therefore, it is necessary to emphasise qualitative information to provide information about cultural values and customs, analyse community organisations more deeply, and identify the barriers to active participation in the project that the most vulnerable sectors of the population may have. In particular, it is especially important to conduct a gender analysis, which is essential to defining proper strategies in the projects. To do this, various methods can be used, such as separating data by gender, having separate focus groups with men and women, ensuring that 50% of women are interviewed in this phase, analysing the roles and uses of time and analysing the strategic interests and practical needs of men and women.

Training processes oriented towards women as users, operators and managers must be effective, allowing equitable access to and control of technology; thus, it is necessary to implement strategies and conduct training for men and women separately or in a decentralised manner (e.g., for groups of families, in areas close to their homes, and at times set by themselves), avoiding displacements outside the community.

2.4.6.2 Sustainability

2.4.6.2.2 Discussion

Only in Chorro Blanco and Suro Antivo did the initiative for electrification come from the community; in the other sites, PA proposed the implementation of an RE electrification project. In these latter cases, lower levels of involvement and motivation were found in comparison with the projects proposed by the community. This lower turnout caused lower levels of technology adoption, participation in meetings and training, and worse operation and maintenance by users. This set of weaknesses can increase the rate of breakdowns and non-payments, thus affecting the sustainability of the systems.

Furthermore, none of the communities participated in the decision making about the design of the systems, which means that the systems do not always exactly meet the needs or wishes of families. Unsatisfied users often do not develop a sense of identification with technology. Their participation in meetings is weak, they are more likely to miss payments, and they do not perform the operation and maintenance tasks correctly. For example, we found that users at Campo Alegre are dissatisfied with their systems because DC cannot be used with many commercial appliances. In Alto Perú, wind and PV microgrid users would like to have individual systems.

In all the cases, people participated in the definition of user monthly tariffs. Although this tariff was based on the willingness to pay, it was insufficient to cover the costs of corrective maintenance and end-of-life equipment replacement. Therefore, it is vital to involve the municipality as the owner of the systems to ensure that it will provide a percentage of the total cost when needed. However, results show that the municipality does not participate in the monitoring and technical

support of the systems. Furthermore, when allocating public funds, the municipality usually prioritises projects that provide political gain, not necessarily assisting those who need the most help. For this reason, when seeking municipal support, a community-based political campaign is needed.

Moreover, the quality of electrical power provided is not always the same for everyone and depends on both the technology and whether individual or microgrid systems are used. This issue could be controversial in projects where there is a diversity of systems, as in Alto Perú, where there could be a dilemma regarding the uniformity of tariffs. For example, the users of the microhydro system have a continuous service, whereas other users have a more limited service; however, the maintenance costs of the other systems are higher because of the costs of replacing batteries, inverters, or PV and wind regulators (the lifespans of which are much shorter than that of the equipment used in microhydro systems). Although some people prefer a differentiated tariff system, the vast majority of users interviewed claim to prefer a unified tariff system, in which the whole community has the same energy prices and the same tariff structure to avoid neighbourhood disputes. Although this type of situation could cause problems due to the socioeconomic diversity of the community, in the case of Alto Perú, the type of system installed and the economic level of households did not seem to influence the non-payment rate.

As was explained before, many of the users interviewed did not clearly understand what was explained to them in the training sessions. This weakness becomes especially significant when individual systems, rather than microgrids, are installed in the community. The users of a microgrid are not responsible for the equipment because the system is centralised in one location and the operator ensures it is functioning correctly. In contrast, in individual PV or wind systems, the equipment is installed in households; therefore, the link between users and operation and maintenance tasks is stronger, and users are forced to strengthen their technical knowledge to minimise the risk of breakdowns. In fact, the analysed microgrid systems have proven to be more reliable and provide better quality service to users, especially the microhydro scheme, because operators can more easily perform operation and maintenance tasks in centralised systems (Millinger et al., 2012). A greater number of failures were found in individual systems, often due to a lack of user training, which increases operation and maintenance costs and reduces users' confidence in the systems and willingness to pay, ultimately reducing the sustainability of the systems.

Finally, in Andean rural areas, it is common to employ 'mitayos', as in the case of the five analysed communities. However, those who attend training sessions and meetings on the electrical system are often homeowners, who remain responsible for the equipment, even when they do not live there. Thus, in some households, the resident 'mitayos' may know nothing about the management model and have no basic knowledge about properly using the electrical equipment. It is also common for these residents to avoid their obligations, claiming that the responsibility lies with the owner, thereby increasing the likelihood of non-payment or damage and putting the sustainability of the systems at serious risk.

2.4.6.2.2 Recommendations

To improve sustainability in future projects, we recommend prioritising projects in which the initiative lies with the community, ensuring that electrification is a need felt by the population. If the project proposal comes from an institution, it will be necessary to emphasise community awareness about responsibility for the project and motivate future users to actively participate in the entire process, thus raising public awareness about the beneficial effects this will have on the level of technology adoption. With an actively involved and motivated population in the project, users adopt technology more deeply, thereby minimising the risk of system neglect or deterioration, which will have a positive effect in terms of sustainability. In addition, innovation should be promoted in the management model, the technology, and its use by local people so that the projects better meet their needs and local conditions and sustainability is maximised.

Moreover, public participation in the design of the systems and management model in each community must be encouraged, increasing the flexibility of the structure and regulations to adapt to local socioeconomic and cultural characteristics, thereby ensuring that technology meets the specific needs of each community.

Finally, training processes offered by operators and administrators should be imposed on new 'mitayos', and their participation in monthly meetings should be required so that they feel involved in system management and so that their level of technology adoption is improved.

2.4.6.3 Empowerment

2.4.6.3.1 Discussion

To improve people's participation in the project and promote users' identification with technology, PA requires involvement in infrastructure construction and equipment installation. However, different levels of involvement were observed in each community depending on the different characteristics of the systems. In particular, we found a strong difference between microhydro and individual PV and wind systems. Microhydro systems require high levels of organisation for a long period of time during the construction of the infrastructure. The process involves a routine of frequent community meetings and collaboration, which increases sense of community and strengthens the mechanisms for conflict resolution. This enhances a collective empowerment process within communities. By contrast, in the case of PV and/or wind systems, these processes do not require as much time or hard communal work. For example, we can compare the 50 working days provided by each user during the construction of the civil works in Suro Antivo, organised in rotating teams, against the few hours needed to install an individual PV system in homes in Alto Perú, where neighbours did not support each other.

However, it was observed that in all cases, the level of involvement of women in the construction and installation phase was very different from that of men, with women's role mainly limited to the preparation of food for working men, thereby being less involved in the coordination meetings

throughout the installation of the systems. As a result, their level of identification with technology and collective empowerment were not improved to the same extent as men. Furthermore, inequalities in terms of the position of women relative to men place women in a situation of inferiority that restricts their right to free and active participation in learning and decision-making processes. In fact, it was found that most of the time, when women attend meetings, their role is limited to listening because they do not feel confident enough to actively participate in decision making. However, the management model does not include any specific strategy to address these problems, which severely limits the impact of the project in terms of empowerment of women.

Only in Suro Antivo were profound changes observed in terms of collective empowerment. The fact that the project was conducted with the active participation of everyone provided the population with confidence to mobilise and attempt to obtain new projects. This process is intimately linked to the empowerment of the leader of the community throughout the process of the project, who has led his community to demand greater investment by the municipality. In fact, the community has already managed to accomplish projects to replace wooden poles for power lines with concrete poles and to improve the microhydro water channel; they are now mobilising for a new sanitation project. However, in the other communities, no significant changes in this regard have been observed, which shows that such projects do not promote empowerment by themselves.

In addition, it was found that the training processes are excessively technical, not focusing on the establishment of a community-wide development process but on the technical sustainability of the systems, which may be one of the reasons why the empowerment levels attained by the population were low.

2.4.6.3.2 Recommendations

To promote the empowerment of people, it is necessary to create inclusive spaces for decision making that ensure a high degree of community involvement in all project phases. Hence, to improve the impact in terms of empowerment in future development projects, we recommend that the institution responsible facilitates a process led by the people themselves, designing specific strategies so as to produce a more profound change in people's lives and influence them politically to stand up for their rights. To accomplish this task, leaders could be trained in community management, human rights, environmental protection, project management, and the Public Investment National System¹⁸. The generation and strengthening of these capacities can encourage changes in the power structures in favour of the most vulnerable. Furthermore, the design of training courses must take into account needs and constraints from every section of the population (men, women, young people, elderly, etc.). At this point, women deserve particular consideration as an especially vulnerable sector, so specific workshops should be included to strengthen women's organisations; furthermore, training should be offered that meets the specific strategic interests of

¹⁸ An administrative system that controls the efficiency, sustainability and socioeconomic impact of public projects

women identified in the gender diagnosis, strengthening their self-esteem and improving their capabilities to argue and speak publicly to improve their willingness to actively participate in meetings and decision-making processes.

2.4.6.4 Productivity

2.4.6.4.1 Discussion

Because the management model was designed by PA, with a very low participation rate, many of those interviewed affirmed that they did not know how the model works, which has limited the ability of people to make innovations and improvements to this model. In fact, only one innovation has been identified in the community of Campo Alegre, where reserve funds from tariffs are used as a revolving fund, with responsibility for monitoring the return given to the control unit. Thus, the community itself promotes access to credit for generating small businesses and boosting productivity.

In the case of Campo Alegre and Alto Perú, the systems were designed to meet only domestic needs, and the generation of businesses was not considered. Thus, although some productive initiatives appear in some communities, the installed systems are not able to meet this type of demand, severely limiting the impact of these projects in terms of productivity (Bhattacharyya, 2012). For instance, one of the users of an individual PV system in Alto Perú has a small cheese production factory, but he can only improve it with electrical power by extending working hours when necessary, which is just an indirect productivity improvement (Bhattacharyya, 2006).

At the same time, in some communities, such as Suro Antivo, where the system supplies enough energy, people hope to start new businesses, yet not one business has been created due to a lack of specific training during project implementation. Only small grocery stores use the lighting to stay open at night, which means that projects are not encouraging new businesses.

2.4.6.4.2 Recommendations

As access to electricity does not promote productivity by itself, specific strategies are needed to encourage the creation of new businesses. To do so, training plans on production, business management and market access must be developed, in addition to the development of tools to improve access to credit and the community helping to create associative or cooperative businesses. In particular, by establishing quality participation processes, community organisations are strengthened, enabling them to develop new productive projects collectively, because there are many barriers that must be overcome to generate rural enterprises individually.

2.4.7 Conclusions

In this paper, we have used the HD approach to analyse the management model of five rural RE electrification projects in Cajamarca, Peru. We aimed to identify weaknesses that are not normally considered in conventional evaluations of such systems. This approach broadens the base of

information with which to analyse technological projects, focusing not only on the resources generated but also on the expansion of opportunities for people. Thanks to the application of this approach and using an innovative methodology, some barriers have been found that this type of project must overcome, which, to date, have not been addressed.

In technological terms, we cannot affirm from this investigation that any of the technologies is more recommendable than others in Andean rural areas. While microhydro systems are commonly preferred, we have seen that PV and wind systems can also be effective in rural communities, depending on resource availability. In fact, regarding the results of this analysis, we can state that all the technologies analysed in this paper might have a great impact in terms of Human Development, but success strongly depends on the process of implementing the management model.

Indeed, access to electricity has positive effects in terms of improved living conditions, but electrical power cannot profoundly transform the lives of a population, especially the most vulnerable, by itself. Actually, a good development of the process of implementing the management model is an opportunity to improve the project's ability to transform people's lives. However, we have found that, in general, insufficient emphasis is given to this process, potentially resulting in low levels of technology adoption for much of the population, the entrenchment of social inequalities, low levels of productivity increase, the entrenchment of unequal power structures, and, in general, only insignificant increases in the ability of people to stand up for their rights against local governments.

In this paper, we have presented a number of recommendations by which the management model can overcome these barriers, which, by conventional analysis, would not have been identified, improving the opportunity for electrification in Peruvian rural areas to act as a catalyst for development.

First, to improve the impact on equity and diversity, qualitative tools should be employed in the identification phase to provide information regarding cultural values and customs and special barriers that must be overcome by the most vulnerable sections of the population, especially women, before they can participate actively in the project. In addition, all the population should be involved in the design process of the management model, thereby ensuring the project considers the specific needs of all families, including the most vulnerable.

Second, to improve sustainability in future projects, we recommend prioritising projects where the initiative comes from the community. With an involved and motivated population, higher levels of technology adoption are acquired, and the risk of system deterioration is reduced. In particular, special efforts are needed to guarantee the involvement of the 'mitayos' in systems management.

Third, concerning empowerment, training plans and courses must take into account needs and specific constraints from every sector of society because capacity building is a key tool for

promoting changes in power structures. Moreover, to promote empowerment, the management model must consider inclusive spaces for decision making, ensuring a high degree of participation.

Fourth, to encourage productivity, it is necessary to develop training plans on production, business management, and access to markets as well as implement tools to improve access to credit and strengthen community organisations to create associative or cooperative businesses.

Although most of the recommendations will increase the costs of these kind of projects in rural areas slightly, their consideration within the processes of the projects will strongly increase the impact on people's lives. For that reason, these small extra costs are considered minimal in comparison with the huge improvements and focusing on these recommendations in future plans and strategies is strongly recommended.

2.4.8 References

- Akorede, M.F., Hizam, H. and Pouresmaeil E., 2010. Distributed energy resources and benefits to the environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 724-734.
- Benecke, G., 2008. Success factors for the effective implementation of renewable energy options for rural electrification in India – Potentials of the clean development mechanism. *International Journal of Energy Research* 32:1066–1079.
- Bhattacharyya, S.C., 2006. Renewable energies and the poor: niche or nexus? *Energy Policy* 34 659-663.
- Bhattacharyya, S.C., 2012. Energy access programmes and sustainable development: A critical review and analysis. *Energy for Sustainable Development*, 16:260–271.
- Borges, K., Walter, A. and Rei, F., 2007. CDM implementation in Brazil's rural and isolated regions: the Amazonian case. *Climatic Change*, Volume 84, Issue 1, pp 111-129.
- Breyer, Ch., Gerlach, A., Hlusiak, M., Peters, C., Adelman, P., Winiecki, J., Schützeichel, H., Tsegaye, S. and Gashie, W., 2009. Electrifying the poor: Highly economic off-grid PV systems in Ethiopia – A basis for sustainable rural development. *24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*.
- Bugaje, I.M., 2006. Renewable energy for sustainable development in Africa: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 10, Issue 6, pp 603–612.
- Chaurey A, Ranganathana, M. and Mohanty, P., 2004. Electricity access for geographically disadvantaged rural communities – technology and policy insights. *Energy Policy* 32 1693-1705.
- Chaurey, A., Kandpal, T.C., 2010a. Assessment and evaluation of PV based decentralized rural electrification: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14:2266–2278.

- Chaurey, A., Kandpal, T.C., 2010b. A techno-economic comparison of rural electrification based on solar home systems and PV microgrids. *Energy Policy*, 38:3118–29.
- Coello, J., Escobar, R., Dávila, C., Villanueva, G., Chiroque, J., 2006. Micro hydro power plants and other alternative energies: contributions of Practical Action – ITDG to rural development. *Environmental case studies and white/technical papers. Port of Entry, Environmental Business Network for the Americas*.
- Cook, C.C., Duncan, T., Jitsuchon, S., Sharma, A., Guobao, W., 2005. Assessing the impact of transport and energy infrastructure on poverty reduction. Manila: Asian Development Bank.
- Dong, A., 2008. The policy of design: A capabilities approach. *Design Issues*, 24(4), pp. 76-87.
- Drinkwaard, W., Kirkels, A., Romijn, H., 2010. A learning-based approach to understanding success in rural electrification: Insights from Micro Hydro projects in Bolivia. *Energy for Sustainable Development*, 14:232–237.
- Energy Sector Management Programme (ESMAP), 2001. Peru: Rural electrification.
- Escobar, R; Vilar, D; Velo, E; Ferrer-Martí, L; Domenech, B (2012) Promoting and Improving Renewable Energy Projects Through Local Capacity Development, in Modeling and Optimization of Renewable Energy Systems, (ISBN: 978-953-51-0600-5), In-Tech, 147-170.
- Fernández-Baldor, Á., Hueso A., and Boni A., 2012. ‘From Individuality to Collectivity: The Challenges for Technology-Oriented Development Projects’, in I. Oosterlaken and J. Van der Hoven (Eds), *The Capability Approach, Technology and Design*, Springer, Dordrecht, pp. 223-244.
- Ferrer-Martí, L., Garwood, A., Chiroque, J., Escobar, R., Coello, J. and Castro, M., 2010. A community small-scale wind generation project in Peru. *Wind Engineering*, 34:277–288.
- Ferrer-Martí, L., Garwood, A., Chiroque, J., Ramirez, B., Marcelo, O., Garfi, M. and Velo, E., 2012. Evaluating and comparing three community small-scale wind electrification projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16:5379–5390.
- Gomez, M. and Silveira, S., 2010. Rural electrification of the Brazilian Amazon – achievements and lessons. *Energy Policy*, 38:6251–6260.
- Gouvello, C., 2002. The limitations of the conventional grid: Bank on complementarity. *Decentralised Rural Electrification: An Opportunity for Mankind, Technique for the Planet*, pages 127–138.
- Groh, S., 2014. The role of energy in development processes—The energy poverty penalty: Case study of Arequipa (Peru). *Energy for Sustainable Development*, 18:83–99.

- Hiremath, R., Kumar, B., Balachandra, P., Ravindranath, N.H. and Raghunandan, B., 2009. Decentralised renewable energy: Scope, relevance and applications in the Indian context. *Energy for Sustainable Development*, 13:4–10.
- Jacobson, A., 2007. Connective Power: Solar Electrification and Social Change in Kenya. *World Development*, 35-1:144–162.
- Kaundinya, D., Balachandra, P. and Ravindranath, N.H., 2009. Grid-connected versus stand-alone energy systems for decentralized power—a review of literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13:2041–2050.
- Kaygusuz, K., 2011. Energy services and energy poverty for sustainable rural development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15:936–947.
- Khan, M., Iqbal, M., 2005. Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland. *Renewable Energy* 30(6):835–54.
- Kooijman-van Dijk, A., Clancy, J., 2010. Impacts of Electricity Access to Rural Enterprises in Bolivia, Tanzania and Vietnam. *Energy for Sustainable Development*, 14:14–21.
- Leary, J., While, A., Howell, R., 2012. Locally manufactured wind power technology for sustainable rural electrification. *Energy Policy*, 43:173–183.
- Lhendup, T., 2008. Rural electrification in Bhutan and a methodology for evaluation of distributed generation system as an alternative option for rural electrification. *Energy for Sustainable Development*, 12:13–24.
- Millinger, M., Marlind, T., Ahlgren, E.O., 2012. Evaluation of Indian rural solar electrification: A case study in Chhattisgarh. *Energy for Sustainable Development*, 16:486–492.
- Nerini, F.F., Howells, M., Bazilian, M., Gomez, M.F., 2014. Rural electrification options in the Brazilian Amazon. A multi-criteria analysis. *Energy for Sustainable Development*, 20:36–48.
- Nguyen, K., 2007. Alternatives to grid extension for rural electrification: Decentralized renewable energy technologies in Vietnam. *Energy Policy*, 35:2579–2589.
- Oosterlaken, I., Grimshaw D., Janssen P., 2012. ‘Marrying the capability approach with appropriate technology and STS - The case of podcasting devices in Zimbabwe’, in I. Oosterlaken and J. Van der Hoven (Eds), *The Capability Approach, Technology and Design*, Springer, Dordrecht, pp. 113–133.
- Oosterlaken, I., 2009. ‘Design for Development; A Capability Approach’, *Design Issues*, 25(4) pp. 91–102.

- Palit, D., 2013. Solar energy programs for rural electrification: Experiences and lessons from South Asia. *Energy for Sustainable Development*, 17:270–279.
- Pasternak, A., 2000. Global energy futures and human development: a framework for analysis. *Lawrence Livermore National Library*.
- REN21, 2008. Renewables 2007—Global Status Report. *Washington, D.C Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*.
- Sen, A., 1999. *Development as freedom*. Oxford University Press.
- Sánchez, T., 2006. *Key factors for the implementation of successful, stand-alone village electrification schemes*. PhD Thesis.
- Sánchez, T., Williams, A. and Smith, N. 2006. The critical factors for success of stand-alone energy schemes. *International Conference on Renewable Energy for Developing Countries*.
- Shyu, C., 2013. End-users' experiences with electricity supply from stand-alone mini-grid solar PV power stations in rural areas of western China. *Energy for Sustainable Development*, 17:270–279.
- Shyu, C., 2014. Ensuring access to electricity and minimum basic electricity needs as a goal for the post-MDG development agenda after 2015. *Energy for Sustainable Development*, 19:29–38.
- ul Haq, M. 1995. *Reflections on Human Development*. Oxford University Press.
- Valer, L.R., Mocelin, A., Zilles, R., Moura, E., Nascimento, C.S., 2014. Assessment of socioeconomic impacts of access to electricity in Brazilian Amazon: case study in two communities in Mamirauá Reserve. *Energy for Sustainable Development*, 20:58–65.
- van Els, R.H., Souza, J.N., Pinho, J.C., 2012. The Brazilian experience of rural electrification in the Amazon with decentralized generation – The need to change the paradigm from electrification to development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16:1450–1461.
- Williams, A.A., Simpson, R., 2009. Pico hydro – Reducing technical risks for rural electrification. *Renewable Energy*, 34:1986–1991.
- Yadoo, A. and Cruickshank, H., 2010. The value of cooperatives in rural electrification. *Energy Policy*, 38:2941–2947.
- Yadoo, A. and Cruickshank, H., 2012. The role for low carbon electrification technologies in poverty reduction and climate change strategies: A focus on renewable energy mini-grids with case studies in Nepal, Peru and Kenya. *Energy Policy*, 42:591–602.

2.5 A new integral management model and evaluation method to enhance sustainability of renewable energy projects for energy and sanitation services

2.5.2 Keywords

Renewable energy projects

Basic energy and sanitation services

Rural areas

Management model

Sustainability

2.5.3 Introduction

Energy services are crucial for eradicating poverty, improving human welfare and raising living standards (Vera, 2007). However, providing access to these services remains a major challenge (Bhattacharyya, 2012a; Mainali and Silveira, 2013; Mainali et al., 2014; Spalding-Fecher et al., 2005) as the vast majority of the world's population, especially in rural areas, still lacks access to these services. Indeed, one in four people on the planet lacks access to basic energy services, this being a huge barrier to improving living conditions and a serious hindrance to economic and social development (IEA, 2010). Moreover, there is a generalized lack of sanitation services. UNDP (2006) concludes that water and sanitation crisis is a direct and immediate threat for poor people in development countries. Thus, providing appropriate and reliable modern energy and sanitation services using secure and environmentally sound technologies, in conformity with socioeconomic needs and cultural values, is essential in the race for sustainable development.

Autonomous systems based on the use of renewable energies (RE) have proven suitable for providing affordable, reliable, safe, and high-quality energy and sanitation services to isolated communities. Moreover, RE projects might potentially strengthen people's self-reliance and empowerment and improve the quality of their environment, including the immediate environment in their households (Johansson et al., 2002).

In Andean rural communities RE based development projects have been implemented, both by public or private initiatives (Midilli et al., 2006). However, most of these projects have failed due to deficient managerial skills (ESMAP, 2010), as these have a big influence on systems' sustainability (Gomez and Silveira, 2012; Palit, 2013; Shyu, 2013; Yadoo and Cruickshank, 2010; Zhang, 2011).

Thus, establishing an adequate management model is a key process when implementing any kind of technology project in rural areas. Sanchez (2006) identified that the management model is the most important factor in achieving sustainability for rural stand-alone electrification projects. Defining an adequate management model may promote technology adoption, reduction of social inequalities, production increase, and redefinition of power structures and strengthening of individual and collective empowerment. Although there are numerous management models for rural technology projects, most of them are generally focus on one single technology or service.

Among them, the most common are those privately managed, cooperatively, or by state or local municipalities or communities. These models have different characteristics in terms of ownership of the systems, level of user participation, responsibility for operation and maintenance (O&M) of systems, users' involvement in infrastructure construction and installation of equipment, management of tariff payments, etc. (ESMAP, 2001).

Furthermore, establishing a robust method to evaluate the sustainability of technology projects must be addressed as a key element within the project management cycle. Appropriate evaluations can support decision making procedures, enhance learning processes, improve management, develop capacities and strengthen coordination between stakeholders. However, the vast majority of the evaluation methods for RE projects in rural areas are focused on energy or sanitation services separately, and do not emphasise the assessment of the key elements of the management model, for instance users participation, accountability, organization and coordination skills, etc.

In the Andean community of Pucara, in the region of Cajamarca (Peru), the local NGO Soluciones Prácticas (Practical Action) implemented a RE project to give access to basic energy and sanitation services. A stand-alone microhydro power plant, individual solar photovoltaic systems, solar water heaters, improved cookstoves, biodigesters and Trombe walls were installed to provide electricity, domestic hot water, upgraded cooking conditions and enhanced household heating. Since the complexity of managing several different types of technologies at a time in one single community is a big challenge, an innovative management model was needed to deal with all the energy and sanitation services at once. Moreover, the model included the drinking water system and latrines that existed already before the RE project's implementation.

This paper is aimed at contributing to the sustainability enhancement of RE projects to provide energy and sanitation services in remote rural areas by developing a novel management model able to deal with any kind of technology. Moreover, a new method to evaluate the sustainability of a wide range of technologies is proposed regarding the technical, the economic, the social/ethical, the environmental and the institutional/organizational dimension. In particular, we will present the project of Pucara, where this integral community management model was designed in August 2011 and the project's sustainability was analysed in September 2013.

The rest of this paper is organized as follows. Section 2 presents the community of Pucara and technologies of the project. The management model design is developed in section 3. In Section 4, the methodology used to evaluate the project sustainability is presented. Section 5 shows the results of the aforementioned evaluation. The results are discussed in Section 6 and finally Section 7 summarizes the conclusions.

2.5.4 Description of the case study

This section describes the main socioeconomic characteristics in Pucara to provide the reader a better understanding of the context of the community where the project was implemented.

2.5.4.1 Description of the community

The project is located in the community of Pucara, in the northern Peruvian Andes, 3320 metres above sea level and two hours journey from the city of Cajamarca, the capital of the region. In this community there are 224 inhabitants and 29 households. There is a primary school with 30 students and two churches, but there is no health care centre, so villagers must go to another community to receive medical assistance.

The majority of the population is under the age of 25 (around 62%). The average education level is quite low, 30% of the population has not finished primary school and 6.1% are illiterate. Each family owns an average of 12 hectares of land for agriculture and livestock. Whereas agricultural production is intended for family consumption, they sell the milk produced by beef cattle and receive an average monthly income of S/. 790 Nuevos Soles¹⁹ per family.

In terms of energy expenses prior to the implementation of the project, families used to spend a monthly average of S/. 16.75 Nuevos Soles, predominantly on candles and batteries. They can collect their own firewood at no monetary cost.

Before the project's implementation, Pucara had already a community drinking water system and family latrines for all villagers. To manage these systems, a Management Board for Sanitation Services (MBSS) composed by local villagers (see Section 3.1) was established, as it is mandatory according to Peruvian law requirements²⁰. Each user had to pay a monthly tariff of S/. 1 Nuevo Sol to cover operation costs. However, this tariff was just enough to cover the operator's salary, who performed basic O&M actions when needed. When any disruption appeared the MBSS had to ask the local Municipality for economical support, which generally provided it with significant delays, thus leaving the community without access to these services for excessive time.

2.5.4.2 Renewable energy technologies implemented in the project

The design of the technologies that would be implemented in the project was defined according to the result of the previous energy demand and socioeconomic analyses. However, the limited budget the NGO had for this project restricted the decision-making process regarding the kind and number of systems to be implemented in Pucara.

Concerning access to electricity, off-grid RE systems were used, as they have proven suitable for rural contexts (for example, Pasternak, 2000; Chaurey et al., 2004; Nguyen, 2007; Borges et al., 2007; Benecke, 2008; Lhendup, 2008; Breyer et al., 2009; Love and Garwood, 2011; Terrapon-Pfaff et al., 2014a, 2014b). A combination of a microhydro power minigrad and individual photovoltaic systems were selected.

A **microhydro power plant** produces electrical power (alternating current) through the use of the gravitational force of falling water, driving a water turbine and generator. This technology

¹⁹ Exchange rate US Dollar/Nuevo Sol is approximately 2.60

²⁰ Article No. 173 of the Regulations of the General Law of Sanitation Services; Law No. 26338

was chosen because microhydro systems are usually the lowest cost option for off-grid rural electrification (Coello et al., 2006; REN21, 2008; Williams and Simpson, 2009; ; Kaygusuz, 2011), the energy is continuously available (Drinkwaard et al., 2010), they have flexible power production for electrical equipment (Guitonga and Clemens, 2006), are reliable for off-grid systems (van Els et al., 2012) and the technology requires little maintenance and is long-lasting (Paish, 2002).

Individual photovoltaic systems generate electricity from solar radiation and are suitable for providing decentralized electrical services to individual homes or businesses (Jacobson, 2007) in remote areas (Chaurey and Kandpal, 2010a), have low running costs (Gullberg et al., 2005), are frequently cheaper than photovoltaic minigrids (Millinger, 2012), the comprehensibility of the source tends to lead to a larger acceptability of the technology (García and Bartolomé, 2010), and are typically used for providing basic electricity services to rural households (Chaurey and Kandpal, 2010b; Valer et al., 2014).

After an economic analysis, the microhydro power plant was installed to electrify only the closest 22 households, the school and both churches. As extending this minigrad to reach the farthest users would be very expensive, in this project individual photovoltaic systems were considered a good alternative for electrifying 7 households located far from the microhydro power plant.

Regarding access to improved cooking facilities, low cost tubular household biodigesters and improved cookstoves were considered in the project.

Biodigesters produce biogas and organic fertilizer through the anaerobic digestion of dung and water. This process takes place in a tubular PVC (geomembrane) reactor, which is buried in a trench and covered with a greenhouse, in order to increase process temperature and minimise overnight temperature fluctuations (Ferrer et al., 2011; Garfí et al., 2012). Biogas is stored in a reservoir in the kitchen, to be used directly for cooking, and organic fertilizer is deposited in a basin located under the biodigester outlet. This technology has the potential to contribute to the reduction of wood consumption (Katuwal and Bohara, 2009); biogas is produced mainly from raw materials that are locally available and can be harnessed in controllable, containable and useable quantities (Walekhwa et al., 2009); the indoor environment is improved and crop productivity is increased (Garfí et al., 2011; 2012). However, this technology is only appropriate for families who own enough cattle, thus ensuring a sufficient quantity of dung available to feed the system. In terms of workload reduction for women and children, biodigesters do not commonly have a strong impact in Andean communities because although the firewood collection workload can be reduced, it is necessary to collect 20 kg of dung and 60 litres of water per family daily, which can be a heavy task depending on the characteristics of each household. Moreover, biodigesters installed in Andean communities only provide enough biogas to cook for 2 hours a day (Garfí et al., 2012), so the demand for cooking is not fully covered and firewood collection is still necessary.

Improved cookstoves are aimed at reducing indoor air pollution, firewood consumption and greenhouse gas emissions (Troncoso et al., 2013; Venkataraman et al., 2010). The system installed in Pucara has a combustion chamber where efficient firewood combustion takes place, with three

cookers and a chimney to channel the smoke outdoors. This technology is widely spread in rural Peruvian areas, but since in the region of Cajamarca many people are still not aware of its benefits, the majority of households still use traditional stoves.

Due to budget constraints, only five biodigesters could be installed, but improved cookstoves certified by SENCICO²¹ were built in every household, complementing the biodigesters in households where both technologies were installed and contributing to the scaling-up process of this technology.

Concerning access to improved heating technologies, **Trombe walls** were installed. This technology can reduce buildings' energy consumption to a great extent (Göksal and Kartal, 2010; Hordeski, 2011) and finely adjust the indoor humidity (Chen et al., 2006). The wall absorbs diffused and direct solar radiation during the day and transfers the heat to the interior of the thick storage mass wall by convection or conduction at night (Agrawal and Tiwari, 2011; Torcellini and Pless, 2004). In this case, classic Trombe walls, in which plastic and an air space separate the wall from the outdoor environment (Saadatian et al., 2012), were selected due to their low cost, easy installation and simplicity in repairing them when needed. For optimal performance, these walls were positioned facing north; materials with high heat-storage capacity, such as stone and adobe, were used; and the external surface of the wall was coloured black to increase the absorption rate (Thumann and Mehta, 2008). Trombe walls not only provide thermal comfort in the spaces connected to the system, but also in adjacent spaces (Boukhris et al., 2009).

In Pucara, families normally meet in the kitchen in the evenings and, as it is a heated space, Trombe walls would have caused insignificant temperature variation (Thumann and Mehta, 2008). Hence, it was decided to install these systems in bedrooms with any of their walls facing north and free of shading obstacles. Taking these considerations into account, 7 Trombe walls were installed, as this was the amount of houses that met the requirements for this technology.

Finally, sanitation services were improved by installing **solar water heaters**, which heat up water from the existent community network pipeline using solar radiation. While this technology is being increasingly promoted in different countries (Chang et al., 2008; Li et al., 2011; Grieve et al., 2012), it has often been overlooked in most developing countries in spite of the fact that many regions have high annual levels of solar radiation (Langniss and Ince, 2004). To prove the suitability and promote the dissemination of this technology in rural Andean communities, solar water heaters were installed in Pucara to provide hot water for bathing for 19 users and the school. It was not possible to provide this service to all families because the budget for the project was insufficient.

²¹ National Training Service for the Construction Industry (SENCICO) is a public institution that, among other activities, analyses the performance of different kinds of improved cookstoves and certifies their appropriateness for rural households in Peru.

2.5.5 Management model

This section presents the management model of Pucara. First the processes of designing and implementing the model are explained. Next, the stakeholders of the management model and the technology classification are detailed.

2.5.5.1 Management model design

Designing the management model for a technology project in rural areas is always a difficult task. Indeed, the bigger the amount of technologies to be managed, the more complex the management model. That is the reason why the majority of management models are focused on one single technology or service. Indeed, prior to the implementation of this project, there were no management models in Peru that involved so many technologies as in Pucara, especially considering the mixture between energy and sanitation services. In fact, in Peru there only existed management models for rural electrification or for drinking water systems and latrines. Hence, there was no model for Trombe walls, biodigesters, solar water heaters or improved cookstoves, and there were no models to deal with energy and sanitation services at once. For these reasons, a new ad hoc management model had to be designed for Pucara.

A participatory process was carried out during the first 6 months of the project with different stakeholders such as the Housing, Building and Sanitation Regional Management; Energy and Mines Regional Management; OSINERGMIN²²; local NGOs, engineers and sociologists; Practical Action's (PA) technical team; and villagers from Pucara to define an appropriate management model.

The first outcome of this process was that a community management was the best option in this area, as community managed projects are considered to be successful (UNDP, 2002). In rural Peru two community management models have proven successful for energy and sanitation technologies. On the one hand, the microenterprise management model for off-grid electrification projects designed by PA, whose main stakeholder is the Rural Electricity Service Unit (RESU), has proven suitable in Andean rural communities (Sanchez, 2006; Ferrer-Martí et al., 2010; Ferrer-Martí et al., 2012; Yadoo and Cruickshank, 2012). On the other hand, the legally established Peruvian model for rural water and sanitation services, whose main stakeholder is the Management Board of Sanitation Services (MBSS), is widespread among rural communities in Peru (Castillo and Vera, 1998).

The MBSS, which already existed in Pucara before the RE project implementation, has rigid regulations, is completely focused on drinking water and sanitation and, according to the law, it is not possible to include technologies which are not strictly related to sanitation services. Hence, this model was not feasible for all the technologies considered in the project.

Moreover, the PA's microenterprise model was only focused on standalone renewable energy technologies for rural electrification, as microhydro power plants, wind turbines or solar photovoltaic systems. This model is too standardised to deal with different technologies which require completely diverse operation and management tasks as solar water heaters, improved

²² Peruvian supervisory body for investment in energy and mining

cookstoves, biodigesters or Trombe walls. Thus, this model was not appropriate for the technologies implemented in Pucara.

Considering this and taking into account that establishing an independent model for each technology in the same community would have been extremely complex to manage, a new integral management model was designed to deal with all the RE technologies at once. This novel management model was based on the experiences of the MBSS and RESU but new roles, regulations, tariff systems and organizational procedures were defined. Moreover, the model was extended to include not only the systems of the RE project but also the drinking water system and the latrines already existing in Pucara. Moreover, it is important to highlight that this management model was conceived in a way that any new technology installed in the community in the future could be included in it. Hence, it has the advantage that it can be very easily disseminated among rural communities and might even promote the addition of new systems to the existing ones.

Figure 1 shows a general scheme of the new integral management model.

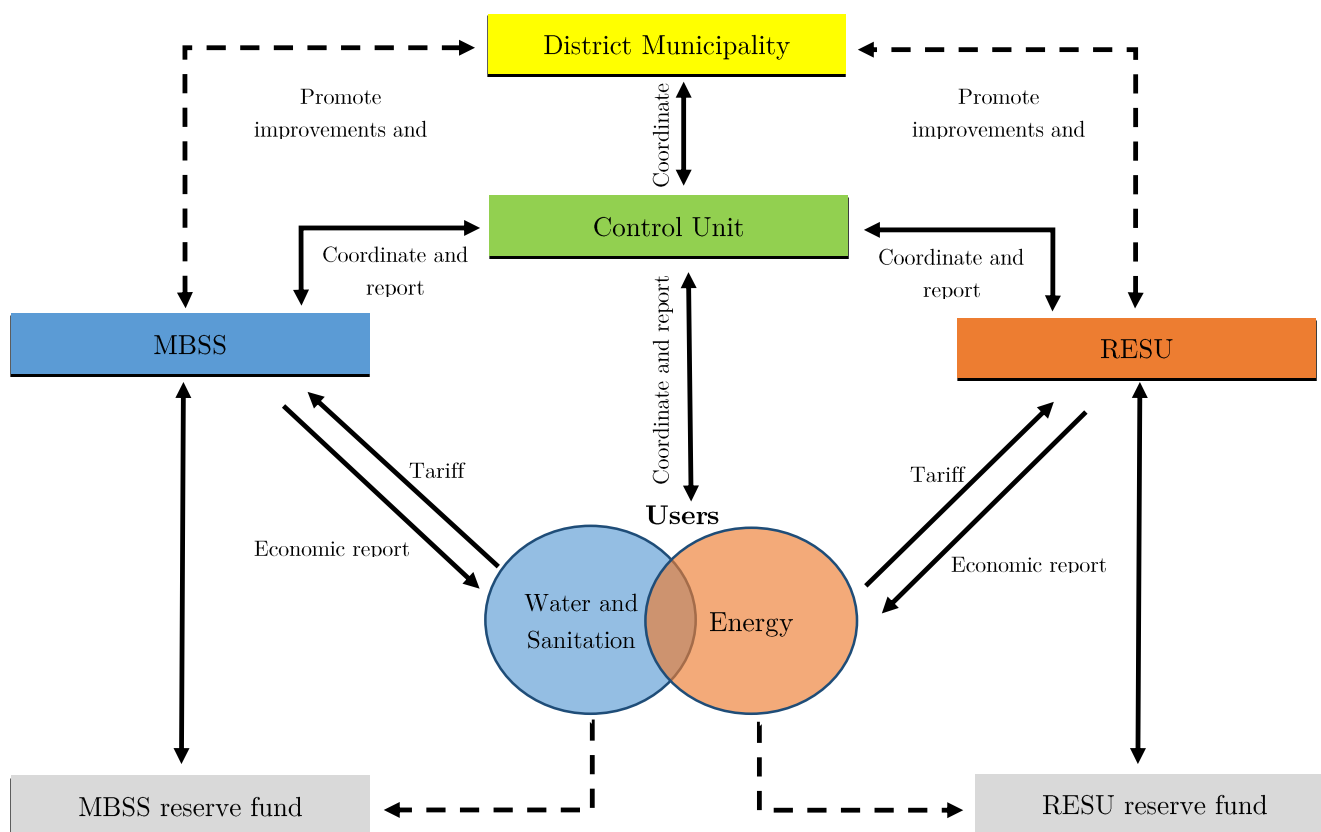


Figure 1. General scheme of the management model

The management model was designed considering the internal social relations within the community, its forms of organization, values, and group and individual capacities, which were especially strengthened to ensure the correct functioning of the systems. It is based on the combination and flexibility increase of the RESU and the MBSS, who coexist and share stakeholders, to provide a unique integral management model. They are responsible for the

technical operation and maintenance of the systems, which are under the control of the RESU or the MBSS depending on the technology and its O&M requirements. The RESU and the MBSS are redefined with relationship to their original standards, so that they can work together to keep the population informed and trained about the systems, and to promote improvement and expansion of the systems if needed. The financial sustainability is guaranteed by defining a special tariff system that covers the running and maintenance costs and by involving the Municipality when greater funds are needed. The users are the main stakeholders in this scheme, as they have the power to democratically define the norms and regulations in community assemblies; have the obligation to attend monthly financial review meetings; and are able to choose and control their representatives, as there is a Control Unit aimed at supervising each stakeholder and through which complaints about the service can be made. In order to promote synergy development with a wide range of stakeholders, the closest Health Care Centre also contributes to the correct use of the systems, as its workers carry out periodic campaigns to train the population in healthy habits.

2.5.5.2 Management model implementation process

Strong emphasis was given to the process of implementation of the management model in order to promote sustainability. The implementation strategy was based on the idea that any strategy for promoting access to energy and sanitation services has to consider various dimensions such as the techno-economic, socio-political, environmental, financial, governance, etc. (Bhattacharya, 2012a) and project beneficiaries must be the key actors in shaping their own social and economic development, not only the passive recipients of external assistance (Ortiz et al., 2012). Indeed, the sustainability of technology projects is threatened by many factors. In addition to technical aspects, economic, social, environmental and organizational issues need to be considered and strengthened.

During the implementation process the implication and motivation of the population was very much promoted in all phases of the project. For instance, their participation in decision-making was encouraged by promoting horizontal processes where everybody's voice is taken into account. In fact, organizational skills to control the systems were improved by establishing periodic meetings and defining adequate roles and procedures, according to local context.

The management model implementation process especially focused on strengthening local capacities and field training programmes were developed. In these programmes especial emphasis was put on strengthening practical capacities, thus ensuring local villagers could really apply theoretical knowledge achieved on real O&M activities. For instance, the users actively participated when installing the RE technologies and these processes were also used to strengthen practical capacities. As part of the training process, it was crucial to ensure that the operators had enough information about where to buy spare parts or components for all technologies to cope with corrective maintenance autonomously.

The development of productive initiatives was promoted as even little the economic incomes increase population quality of life. Moreover, economic incomes have proven to be very effective to strengthen the implication and user's motivation to maintain the projects. Villagers were

encouraged to invest in microbusinesses taking advantage of the new technologies, especially for electricity. To do that, showing successful experiences carried out in similar areas was very illustrative.

Finally, environmental consciousness was raised through special trainings, especially focusing on efficient use of natural resources. Several workshops were developed to discuss how the forest could be maintained through a sustainable use of firewood, how the dung can be reused as energy resource and why fuel consumption should be reduced to prevent environmental damage.

2.5.5.3 Management model stakeholders

Management Board of Sanitation Services (MBSS)

The MBSS is responsible for the operation and maintenance tasks of sanitation systems; the preparation of the annual work plan and budget, calculation and collection of the monthly tariff, which provides a reserve fund to pay for operation and the preventive and corrective maintenance of the systems; the imposition of penalties on users; the promotion of healthy habits in households; the organization of community clean-up campaigns and other minor functions. In the proposed model MBSS functions are widened with respect to its original definition, as the amount of technologies under its responsibility increased (see Section 3.4).

Rural Energy Service Unit (RESU)

While this name normally refers to “Electric Services”, in Pucara it refers to “Energy Services”, as the systems are related to cooking and heating as well. The RESU is a microenterprise formed by two local villagers, who are responsible for operation, preventive and corrective maintenance; the collection of monthly tariffs, which provide a reserve fund to pay for operation and preventive and corrective maintenance of the systems; service cut-off and/or replacement; promotion of the extension of services to new users and other minor functions. It must be noted that new organizational procedures have defined to allow the RESU and the MBSS sharing representatives. These stakeholders should be deeply involved and coordinated one with the other to perform their activities in the most efficient way. In fact, if there were no legal restrictions, there could only be one single institution performing all these tasks.

Users

Each user is responsible for using and maintaining their systems appropriately, as well as paying the specific tariffs defined for each technology, which can be flat rate tariffs, variable depending on the consumption, or variable depending on the extent of the repairs (see Section 3.4). Moreover, the users make up a General Assembly, which is the highest authority in the management model, and is responsible for the election of the MBSS and RESU personnel; the approval of plans and budgets; the monitoring and evaluation of the MBSS and RESU activities; and other functions that may be required. The General Assembly meets monthly and the attendance of users is mandatory. In case any user does not attend, and has no important justification, a S/. 10 Nuevos Soles fine is imposed.

Control Unit (CU)

The CU is elected by the General Assembly and is composed of local people, mainly authorities. Specific regulations have been defined to give the CU the responsibility to monitor the administration of both the RESU and the MBSS (use of tariffs, non-paying clients, quality of service, etc.), and ensure compliance of users' obligations; auditing water, sanitation and energy services; and addressing complaints, suggestions or conflicts. It should operate impartially and its controlling tasks should be completely separated from political affairs.

District Municipality

The legal owner of the systems is the District Municipality, which signs a concession contract assigning the service management to the MBSS and the RESU; thus, it cannot interfere with day-to-day operations. However, as the legal owner, the municipality shares responsibility for replacing equipment when needed, so it must add to the reserve funds when they are insufficient, reinforcing the sustainability of the systems.

2.5.5.4 Technology classification

Considering the MBSS rigidity to include new technologies, two criteria were employed to decide whether each technology should be operated and maintained by the RESU or the MBSS:

- 1.-Monitoring simplicity for the RESU or the MBSS, regarding the kind of maintenance of the technology.
- 2.-Possibility for the MBSS to do it, according to regulations, as it can only include sanitation services

According to the aforementioned criteria, O&M responsibility for solar water heaters and improved cookstoves was assigned to the MBSS, in addition to the drinking water systems and latrines that were already managed by this organisation. In the first case, hot water for bathing is clearly related to sanitation services, which fits the aim of the MBSS, and the members of this organisation already had the skills needed to operate and maintain water systems, thus simplifying the training programme for operators. In the second case, as one of the tasks of the MBSS involves monitoring and promoting healthy habits within households in coordination with the closest health care centre, and in some other communities in Cajamarca the MBSS was already responsible for this technology, it was decided to assign the O&M responsibilities for the improved cookstoves to this stakeholder. Management responsibility for the microhydro power plant, individual photovoltaic systems, biodigesters and Trombe walls was assigned to the RESU. While the first two cases were assigned to the RESU because it was originally created to manage and operate off-grid electrification systems, Trombe walls and biodigesters could have been assigned to either the RESU or the MBSS. However, they are more related to energy services than to sanitation services so, in accordance with the PA technical team, it was decided to assign this technology management to the RESU.

The MBSS' O&M tasks related to each technology are summarized as follows:

- **Drinking water system:** The MBSS is responsible for the water disinfection by chlorination process. This disinfection should be performed quarterly, as well as maintaining the infrastructure (pipeline, reservoir, valves, etc.). Users pay a monthly tariff whose amount is S/. 1 Nuevo Sol. This payment is intended for the purchase of inputs for water disinfection, operation expenses as well as spare parts and tools.
- **Latrines:** The MBSS periodically checks the condition of the latrines, and verifies that all users maintain them correctly. If the system needs repairing, the MBSS could provide the service, but the cost of this task must be covered by the user.
- **Solar Water Heaters:** The MBSS periodically verifies that all pipe connections and operation habits are correct. If the system needs basic repairing, or the user needs plumbing services, these tasks can be carried out by the MBSS. In case the break is severe, the MBSS will contact local suppliers, located in the city of Cajamarca, to solve complex problems. The cost of the repair will vary depending on the extent of the repair and will be covered by the user.
- **Improved cookstoves:** The MBSS periodically checks the condition of the cookstoves and provides repair services if needed. The latter have a variable cost, depending on the extent of the repair, which will be covered by the user.

The RESU's operation and maintenance tasks related to each technology are summarized as follows:

- **Microhydro power plant:** The RESU performs preventive and corrective maintenance of all system's components (civil works, electromechanical equipment and power grids). Users pay a monthly tariff that depends on consumption and was designed to promote the creation of new businesses. Up to 10 kWh/month families pay a baseline of S/. 10 Nuevos Soles; if consumption varies between 11 and 15 kWh/month, the cost per kWh exceeding 10 kWh/month is S/. 0.50 Nuevos Soles; and when consumption is greater than 15 kW, the cost per kWh exceeding 15 kWh/month is S/.0.30 (decreasing block tariff). In this case, micro-credits are available for new users' connections to the microhydro power plant, as it is the only centralized system and expanding it is generally cheap if the new house is built close to the minigrid.
- **Photovoltaic systems:** The RESU is responsible for performing monthly preventive maintenance tasks, and supervising whether users care for and use the equipment properly. The users of these systems pay a flat rate tariff of S/. 10.00 soles.
- **Trombe walls:** The RESU supervises whether users maintain and use the equipment properly, and provides repair services if needed. The latter have a variable cost, depending on the extent of the repair, which will be covered by the user. Due to the simplicity of the technology, the wall can be repaired with local materials.
- **Biodigesters:** As for the Trombe walls, the RESU supervises whether users maintain and use the equipment properly, and provides repair services if needed. The latter have a variable cost, depending on the extent of the repair, which will be covered by the user. Due to the simplicity of the technology, the biodigester can be repaired with local materials except for the geomembrane, which can be found in Lima.

2.5.6 Assessment of the sustainability of the project

Several studies have assessed sustainability of energy projects, using different sets of indicators and different approaches, either at macro and micro levels.

Regarding country level sustainability evaluations, the UN-CSD (1996) developed more than 130 indicators divided into four primary dimensions of sustainable development—social, economic, environmental, and institutional. Vera et al. (2007) proposed an analytical tool based on indicators for sustainable energy, considering social, economic and environmental dimensions, for assessing current energy production and use patterns at a national level. Mainali et al. (2014) defined a composite energy sustainability index regarding social, economic, technical and environmental dimensions of sustainable development, focusing on rural energy sustainability. Other energy indexes have been defined at an aggregated national level, such as the Energy Development Index (WEO, 2012) and the Energy Sustainability Index (WET, 2012), and comprehensive lists of energy indicators for sustainable development have been published (IAEA, 2005; UN, 2001; UNDESA, 2007). However some of the indicators defined in these studies are broad in nature and hard to quantify (Ugwu and Haupt, 2007), country level indicators may hide urban/rural inequities (Doukas et al., 2012) and are not suitable for evaluating local projects.

To overcome these barriers, Ilskog (2008) proposed, and Ilskog and Kjellström (2008) tested, a method to evaluate the sustainability of electrification projects by means of 39 indicators, in which five dimensions of sustainability were considered: technical, economic, social/ethical, environmental and organizational/institutional sustainability. Moreover, indicators were defined to facilitate data collection and reduce the risk of subjective assessments. On the basis of this methodology, several adaptations have been made. For instance, Yadoo and Cruickshank (2012) defined 43 sustainability indicators, considering the five sustainability dimensions proposed by Ilskog (2008), to evaluate rural electrification projects in Nepal, Peru and Kenya. Furthermore, other methodologies have been used to assess rural electrification projects. Brent and Rogers (2010) applied a methodology considering 20 indicators to assess the sustainability of renewable energy technologies for off-grid applications, focusing on a rural village in the Eastern Cape Province of South Africa; and Ferrer-Martí et al. (2012) defined and tested a methodology to evaluate and compare three community small-scale wind electrification projects.

However, since these methodologies are defined to analyse electrification projects, a wide range of technologies for providing access to basic energy and sanitation services are beyond their scope. Regarding this weakness, Bhattacharya (2012b) defined a methodology, based on Ilskog (2008), with 26 indicators to analyse six generic energy access programs, namely grid extension, off-grid solar home systems, off-grid electrification through local mini grids, petroleum fuel promotion for cooking, biogas programmes and improved cookstove programmes, thus broadening the scope of this methodology.

Nevertheless, the range of technologies and basic energy and sanitation services needed in this project not only consider electricity and cooking, but a wider range of services. Therefore, considering the previously described methodologies, and based on the successful methodology

proposed by Ilskog (2008), a series of 34 Sustainability Indicators were developed to analyse the aforementioned five dimensions of sustainability for energy and sanitation technologies in rural communities, as the majority of rural populations living in developing countries do not have access to sanitation services and are energy poor, and there is a need for rural energy to be analysed separately (Mainali et al., 2014). This set of indicators, which is shown in Table 1, was defined by the authors and some villagers from Pucara, bearing in mind the importance of stakeholders' participation (Bhattacharya, 2012a).

Since ranking methods may reduce large absolute differences or exaggerate smaller discrepancies between cases (Ilskog and Kjellström, 2008) and limit the chances of evaluating one single project, this methodology to evaluate energy projects by means of indicators has been defined in such a way that absolute measurements can be carried out. It must be noted that some indicators' scores have to be normalised to a common 0-100 scale. Moreover, to prevent biases from evaluators' subjectivity, many indicators are not based on evaluators' judgments but on users' opinions, as they are the important subjects of development and their opinions and values must inevitably be taken into account.

Sustainability Dimension	Name of Indicator	Description
Technical development	Daily operation services	Ratio of days per week with available operation services (%)
	Service is reliable, disruptions are minimal	Users' valuation of the frequency of disruptions (1-5)
	Service meets demand capacity requirements	Users' valuation of the percentage of the demand met (1-5)
	Support infrastructure (expertise, supply parts) is readily available	Availability of support infrastructure (Low, Low-Medium, Medium, Medium-High, High)
	System is well maintained	Ratio of systems in perfect condition to the total systems (%)
	Service is safe to use and operate	Users' perception of systems' safety to use and operate (1-5)
	People are satisfied with the O&M service	Users' valuation of the O&M service (1-5)
	People are satisfied with technology	Users' valuation of the technology (1-5)
Economic development	System breaks even (O&M costs are met)	Percentage of the O&M costs met (%)
	Tariff/other payments are convenient	Users' valuation of the tariffs appropriateness (1-5)
	Tariff lag	Ratio of users who pay the tariff to the total users (R), considering a 20% tariff lag threshold (Indicator score=(R-80)*5; if R<80 -> indicator score=0)
	Energy is used for income-generating activities or for improved agricultural activities	Ratio of households using energy for income-generating activities or for improved agricultural activities to the total households (%)
	Reduction of energy costs (e.g. kerosene, candles, batteries, etc.)	Indicator score=100-100*((current costs for energy+tariff)/(previous costs for energy))
Social/ethical development	Share of population with access to energy services	Ratio of households with access to energy services to the total households (%)
	Energy is used in schools	Percentage of schools with access to energy services (%)
	Micro-credit (or alternative) possibilities are available for energy services connection and tariff payment if needed	Availability of micro-credits for energy services access and tariff payment if needed (Yes=100; No=0)
	All households who want it can have access to energy service	Ratio of households that can have access to energy service if desired to the total households (%)
	Women are trained for O&M	Indicator score=Number of women trained/Number of men trained

	Share of women in staff and management	Indicator score=Number of women in staff and management /Number of men in staff and management
	Women have more time for themselves	Women's valuation of the extra time available for themselves (1-5)
	Local innovations have been developed	Local innovations have been identified (Low, Low-Medium, Medium, Medium-High, High)
	Local human labour has been used during installation	Ratio of users who have been involved in installation processes to the total users (%)
	Health improvement	Users' valuation of health improvement after technology installation (1-5)
	Increased number of hours for children's education at home	Users' valuation of the children's extra time available for studying at home (1-5)
Environmental development	Share of renewable energy in production	Ratio of renewable energy to total energy generated (%)
	Share of households where "dirty" energy sources have been replaced	Ratio of households where "dirty" energy sources have been replaced to the total households (%)
	No adverse local environmental impacts have occurred	Appearance of local environmental impacts (No impacts, minor impacts, serious impacts)
	Materials can be re-used or recycled locally after reaching technology lifespan	Amount of systems' parts that can be re-used or recycled locally after reaching technology lifespan (Low, Low-Medium, Medium, Medium-High, High)
	Local materials have been used	Amount of systems' parts that are built with local materials (Low, Low-Medium, Medium, Medium-High, High)
Organisational/ institutional development	Appropriate training of staff	Staff valuation of the training process appropriateness (1-5)
	The management model promotes villagers' organisation and coordination skills	Users' valuation of the local organisation and coordination skills improvement (1-5)
	Transparent financial accounts are kept	Users valuation of financial accountability (1-5)
	There is an effective channel through which complaints about the service can be made	Availability of an effective channel through which complaints about the service can be made (Yes=100; No=0)
	Participation of users in General Assembly meetings	Average ratio of users attending General Assembly meetings to the total users (%)

Table 1. Sustainability Indicators

The technical dimension focuses on ensuring the correct operation of the systems during their lifespan. This dimension deals with the fulfilment of the local energy and sanitation needs, the reliability of the systems, the operation and maintenance tasks, and technical support availability. This dimension aims to address the need to ensure safe technical solutions in energy and sanitation provision and it is considered one of the keys to achieving the MDGs (Modi et al., 2005).

The economic dimension deals with the ability of the project to promote increases in household incomes, the capacity to pay the tariff and the level of tariff lag, and the appropriateness of the tariff definition to cover operation and maintenance costs, thus avoiding major disruptions and collapses (Villavicencio, 2002).

The social/ethical dimension is the most complex of the five dimensions. As these kinds of projects are aimed at alleviating poverty in rural contexts, their impact in terms of development as a whole must be evaluated. Therefore, issues like equity, gender, health and education must be addressed. It should be noted that gender equity carries a lot of weight, as there are 3 indicators related to this issue, since technology projects might have negative impacts on women's lives if a gender

strategy is not defined and implemented during the course of the project (Fernández-Baldor et al., 2014).

The environmental dimension focuses on how the project affects the environment in terms of use of natural resources, emissions and wastes. Environmental sustainability not only deals with outdoor air pollution, deforestation or soil contamination, but also with the indoor environment, reducing the use of fossil fuels for lighting or biofuels for cooking.

The organisational/institutional dimension is the one that mostly evaluates the appropriateness of the management model designed. This dimension focuses on how the organisation capacities are reinforced within the community, on how the human capacities are strengthened, on the level of accountability, and finally on the users' participation in decision-making processes, which is a key factor for the development process to succeed (Sharachchandra, 1991).

2.5.7 Results

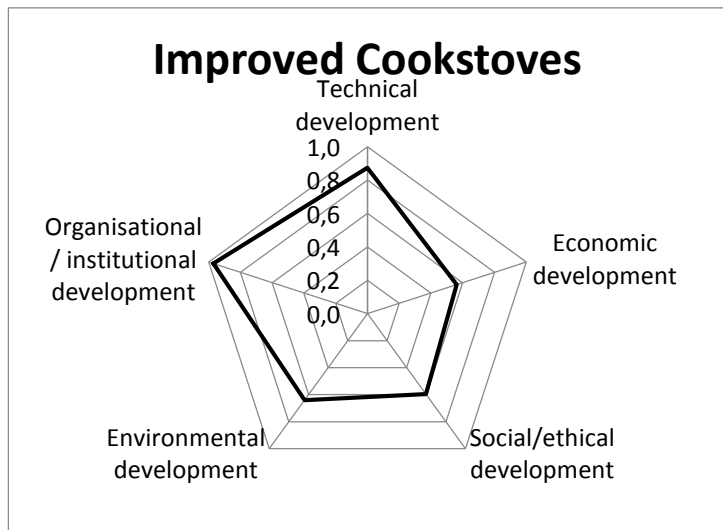
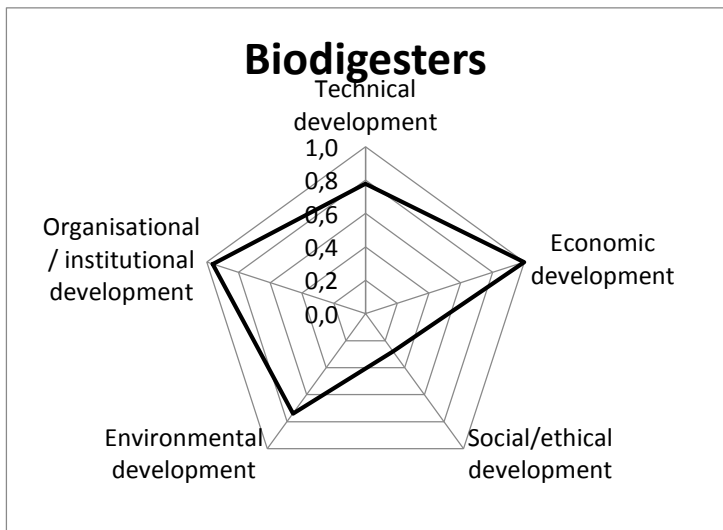
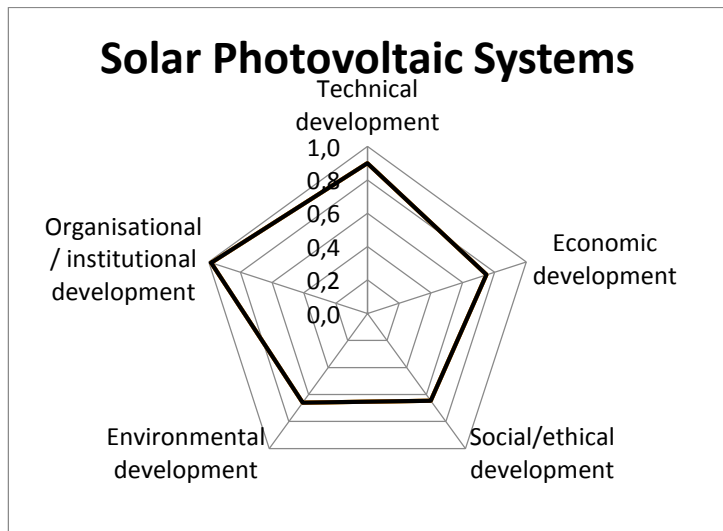
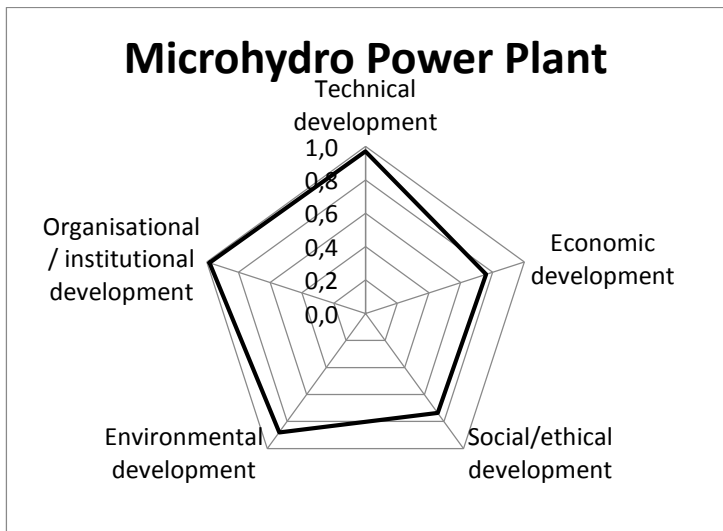
To evaluate the sustainability of the RE project, a wide range of information had to be collected, regarding systems' technical assessment, socioeconomic development, environmental impacts, organisational strength, etc. To obtain this information and give a score to every indicator, methods included transect walks; semi-structured interviews with all users, MBSS, RESU and control unit members; specific surveys for each technology; observation and photographic evidence; and semi-structured interviews held with the PA's technical team. Fieldwork was conducted between August and December 2013. It should be noted that we obtained information from 45 participants, 27 men and 18 women, using various techniques to properly triangulate our findings and ensure their validity. Table 2 shows the total households with each of the technologies total users of each technology, the number and the percentage of the households visited for each technology.

	Total households	Households visited	Percentage
Microhydro Power Plant	22	19	86,4%
Solar Photovoltaic Systems	7	5	71,4%
Biodigesters	5	2	40,0%
Improved Cookstoves	19	18	94,7%
Trombe Walls	7	4	57,1%
Solar Water Heaters	19	18	94,7%

Table 2. Households visited for each technology.

Spider web diagrams and a bar chart are used to show the results in a reader-friendly way, so that the extent to which every sustainability dimension is reached by each technology can be easily analysed and compared. Moreover, as stated by Yadoo and Cruickshank (2012), and learning from Ilskog and Kjellström's (2008) experience, we decided not to aggregate the scores

of the different dimensions in order not to hide interesting differences between dimensions. The scores of the different technologies after applying the sustainability indicators are shown in Figures 2 and 3.



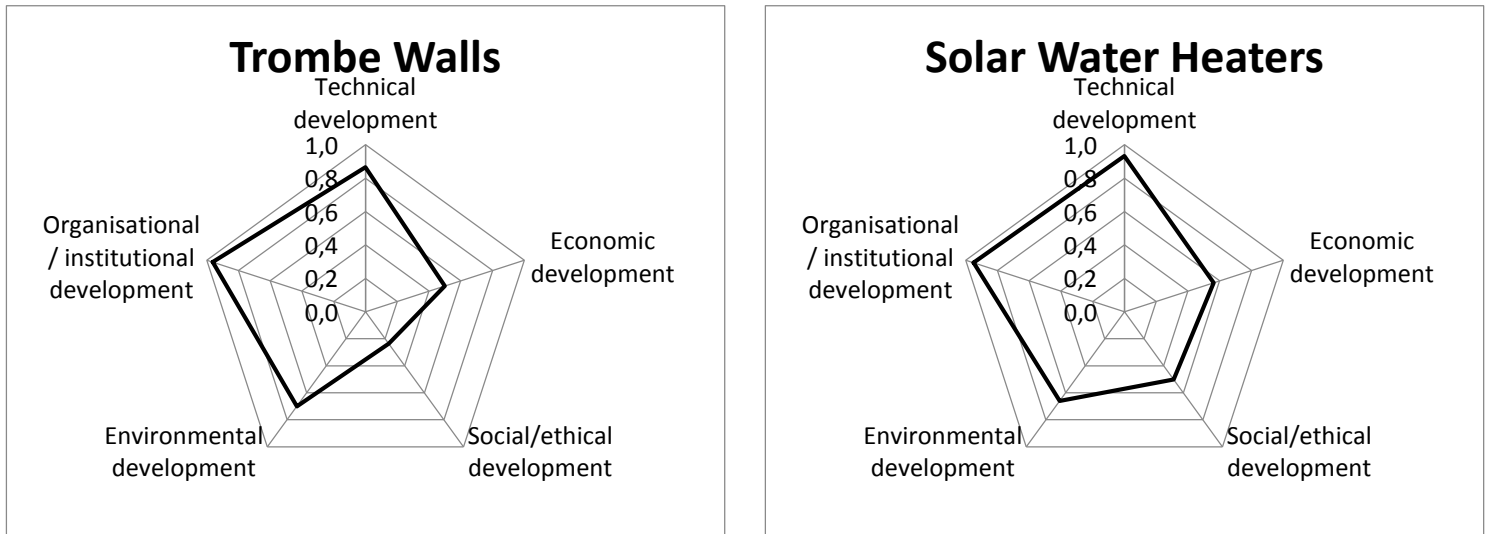


Figure 2. Spatial representation of the technologies' sustainability scores.

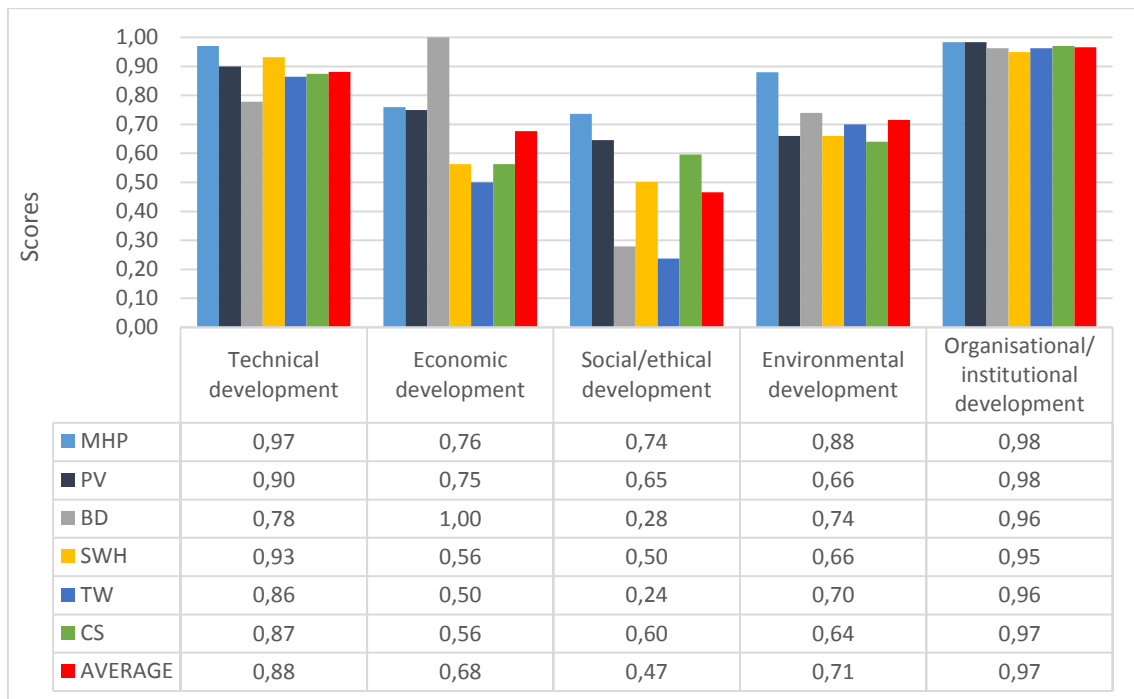


Figure 3. Bar chart representation of the sustainability dimension scores

2.5.8 Discussion

Next, the results are analysed and discussed on the basis of the five dimensions of sustainability, namely technical (TD), economic (EcD), social/ethical (SED), environmental (ED) and organisational/institutional (OID), described in Section 4.

In the first section, we carry out an overall assessment of the performance and the sustainability of the project, and we globally analyse the five dimensions defined to identify how the project has

succeeded in each of them. In the following sections we analyse the results for each dimension with more details.

2.5.8.1 Overall analysis of the management model and sustainability of the project

Overall, the rural energy and sanitation project as a whole is performing well, with low level of disruptions, repairs do not take excessive time, population actively participates in decision making assemblies, financial status of the organization is safe and users are highly satisfied in general. We can affirm the proposed management model has been effective to maximise the sustainability of the project, especially considering the high level of complexity of this project, the high amount of different technologies, and the challenges and barriers that had to be overcome all along the process, such as the lack of technical knowledge and experience of the population, weak organizational capacities and lack of successful projects like this one to learn from.

Moreover, the new management model has contributed to enhance the sustainability of the drinking water system and latrines. The financial sustainability of these systems was weak, as the tariff was too low. Now, the economical sustainability of the system is not in danger because the energy fund can contribute to cover maintenance costs, thus enhancing the autonomy of the community to carry over repair actions.

According to the obtained results, the best valued dimension is organizative/institutional, the second one is technical, the third and fourth are environmental and economic, with similar results, and finally the social/ethical. These dimensions have an average score of 0.97, 0.88, 0.71, 0.68 and 0.47, respectively. Organizative/institutional, technical and environmental obtained good scores for all technologies, especially the first two. economic shows bigger variability among the different technologies, with very high scores for biodigesters but lower ones for Trombe walls or improved cookstoves. Finally, social/ethical shows the lowest scores, especially for biodigesters and Trombe walls. The statistical significance of evaluation results was analysed by the Paired t-test, which tests the mean difference between paired observations; with a significance level (α) of 5%, using the Minitab Statistical Software (Garfí et al., 2011). Statistical analysis confirms the results the results are statistically significant, and remarks that organizative/institutional and technical dimensions, which obtain good results for all technologies, are the best valued ones.

2.5.8.2 The technical dimension

This is one of the best valued dimensions for all the technologies. As there are local operators, maintenance services are available permanently. Thus, whereas there are slight differences between technologies, the systems are well maintained and the level of disruptions is minimal. In all cases the support infrastructure is available in case it is needed. However, for the microhydro power plant, photovoltaic systems and biodigesters, operators might need to contact supply distributors located in Lima in case of major repairs. That is the reason why these technologies are less valued regarding this indicator. All the technologies are considered safe to use and operate, and they generally meet demand requirements. However, in this latter case, biodigesters are less

valued than the rest because they cannot completely meet the demand for cooking and fertilizing, as stated by users. Regarding villagers' level of satisfaction with respect to the technologies and the operation and maintenance services, the scores obtained are generally high. In the first case all the technologies are very well valued. However, the level of satisfaction with biodigesters seems to be lower because they do not completely meet the demand for cooking and fertilizing. In the second case the level of satisfaction is higher in the case of the microhydro power plant because, as it is a centralised system, it is easier for the operator to perform maintenance tasks frequently. In the case of the individual technologies, the level of satisfaction with operation and maintenance services is lower because the maintenance tasks are less frequent as households are far from each other and more time is needed for operators to visit each house in comparison with the centralised systems. This problem could be solved by hiring new operators, but this would increase the costs for operation and maintenance and thus increase the monthly tariff, which in Pucara was not possible due to the high level of poverty in the area.

2.5.8.3 The economic dimension

Two main issues are addressed by this dimension: the coverage of costs to maintain the technologies during their lifespan and the promotion of villagers' economic development.

The first aspect mainly depends on the management model. The tariff was determined according to the users' choice and decided in an assembly where everybody can participate in the decision-making process. Hence, the tariff appears to be appropriate and the level of tariff lag is low in all cases. Operation and maintenance costs are also met, except for electrification systems. As these are considerably more expensive than the rest of the technologies installed, the Municipality will have to support the organization economically when major replacements are needed (batteries, turbine, solar panels, etc.). However, as the Municipality is considered an important stakeholder in the management model, its support is guaranteed from the beginning of the project.

The second aspect mainly depends on the characteristics of each technology. In this case the results are more variable than in the previous one. Access to electricity has only allowed small pre-existing groceries to open at night, which is not a significant increase in terms of income generation considering the overall impact on each family. Only biodigesters have proven effective in increasing productivity, as the fertilizer produced allows a considerable increase in crop and pasture production. No productive uses were observed in the rest of the technologies. Furthermore, income increases could be achieved by saving money from previously used fuels. In this case, electricity systems reduced these expenses considerably as the tariff is lower than the cost of candles, batteries or kerosene. The rest of the technologies reduce the amount of firewood used, but as in Pucara this resource is abundant and villagers' do not have to pay for it, no economic improvements have been observed.

For future projects, in order to get a significant improvement in this dimension, productive development needs to be promoted to increase family incomes. Nevertheless, lack of access to credit and organizational skills to develop collective entrepreneurship are the main roadblocks to achieve these goals.

2.5.8.4 The social/ethical dimension

This dimension has the lowest score for the majority of technologies. As this dimension is crucial for development projects these results are discussed in detail.

Not all villagers had access to all the technologies due to some of their characteristics and budget limitations. Whereas all users had access to electricity and improved cookstoves, not all families could be provided with solar water heaters, biodigesters and Trombe walls. Furthermore, as micro-credits are only available for new users' connections to the microhydro power plant, and in the case of individual systems new users must pay for the whole system at once, equity is affected and the scores of some technologies is lowered. Hence, whereas the decision about the micro-credit offer was taken by the General Assembly, it seems not to be the best solution and micro-credits should be available for all users and technologies.

Another important issue that has diminished the scores is related to gender equity. In Andean communities power structures are biased towards masculine domination, and the role of women is generally limited to household affairs. These structures are so rigid that it is very difficult to reach ambitious objectives in terms of gender equity during the period of implementation of these projects. For that reason, despite promoting the involvement of women in the O&M training process and the inclusion of women in the staff, these objectives could not be reached. Women and children benefitted especially from different services to have more time for themselves, as they can stay awake longer at night thanks to improved lighting conditions at home and the workload is reduced. However, women often use this extra time to extend their workload in household tasks (Fernández-Baldor et al., 2014), and that can be a reason why this indicator's score is low in some cases. Since reaching gender equity goals has proven to be a very difficult task in Andean communities, special measures should be included in future models to promote it. Of course, the strategies to address these issues need to be defined in accordance to the socioeconomic characteristics of the community where the project is implemented.

The process of technology adoption was especially considered as well, as it is a determinant factor in promoting sustainability (Ruiz-Mercado et al., 2011; Troncoso, 2013). Therefore people were involved during the whole process of the project, even as labour. With an actively involved and motivated population in the project, users adopt technology more completely, thereby minimising the risk of system neglect or deterioration, which will have a positive effect in terms of sustainability. Moreover, the appearance of local innovations was promoted to strengthen the technology adoption process, but only few ideas related to improved cookstoves, biodigesters and Trombe walls appeared.

Finally, a major issue regarding sustainable development is health improvement, and in this case all the technologies are highly valued as they reduce indoor air pollution, reduce fire risks and lower the probability of diseases.

2.5.8.5 The environmental dimension

The indicators used for this dimension were based on highly ambitious environmental criteria, as Nature is a key issue in Andean villagers' world vision. That is the reason why, although all the technologies use renewable resources and no adverse environmental impacts have occurred, the scores have not been as high as if softer criteria had been used.

Only electricity substitutes "dirty" fuels like batteries, candles or kerosene, while the rest of them reduce firewood needs, which is considered by the authors as a renewable resource as its use in Pucara is responsible and equilibrated with the forest production. Local materials were used in general, except for the solar panels, the turbine, the biodigesters's geomembrane and the solar water heaters' pipes. Finally, many of the technologies are not easily re-used or recycled after reaching their lifespan. Solar panels, batteries and electronic devices, greenhouse plastics, geomembrane, PVC pipes and debris cannot be reused or recycled in the area. Only the microhydro power plant water channel can be reused for irrigation, the solar water heaters' water tank can be reused for liquid storage and wood from Trombe walls structures can be used as firewood.

2.5.8.6 The institutional/organisational dimension

This dimension is the most dependent on the management model and it is the best valued in Pucara, which means that the design of the management model was effective, efficient and appropriate for rural Andean contexts.

In all cases there was strong emphasis on strengthening users' and staff's capacities, developing an efficient training process to ensure all stakeholders had the appropriate knowledge about the technologies and the management model.

All users were involved during the installation of the systems. This process involved a routine of frequent community meetings and collaboration, which increased the sense of community and strengthened the mechanisms for conflict resolution. In addition, open-access assembly decision making was established, which promoted horizontal power procedures, and high rates of user assistance were identified, thus enabling high quality democratic processes.

Furthermore, accountability and answerability are really emphasised, as transparent financial accounts are kept and effective channels are defined, through which complaints about the service can be made. Hence, all stakeholders feel confident with the management model.

Therefore, managerial and operational autonomy, which is recommended by Zomers (2003), is guaranteed as external dependence was not identified. This allows Pucara's villagers to strengthen organizational and institutional assets, encouraging collective empowerment processes and promoting the development of new projects aimed at improving their living conditions.

2.5.9 Conclusions

In this paper we develop an integral management model and we evaluate the sustainability of the RE project implemented in Pucara (Peru). An innovative management model was created to provide basic energy and sanitation services with six different technologies: a microhydro power plant, individual photovoltaic systems, biodigesters, improved cookstoves, Trombe walls and solar water heaters. The management model was based on the combination of the Rural Energy Service Unit and the Management Board of Sanitation Services, who coexist and share stakeholders, and are responsible for the technical operation and maintenance of the systems. It is focused on encouraging autonomous management of all technologies and is conceived in a way that any new technology installed in the community in the future could be included in it. Hence, it has the advantage that it can be very easily disseminated among rural communities and might even promote the addition of new systems to the existing ones. Since this model gives the community the opportunity to manage all systems at once, even mixing energy, water and sanitation services, it represents a step change compared to existing ones.

Moreover, a novel evaluation methodology was proposed to assess five dimensions of sustainable development: technical, economic, social/ethical, environmental and institutional/organizational. The technical dimension is one of the best valued dimensions for all the technologies, as appropriate O&M services were defined, systems are generally in well condition and disruptions are rare. The economic dimension has shown disparate scores; biodigesters are the most valued in this case as they promote income-generating activities and reduce costs for energy. The social/ethical dimension is the worst valued dimension for almost all the technologies; not all villagers had access to all the technologies due to the characteristics of some of them and budget limitations. The environmental dimension is well valued in all cases. However, the scores are not as high as expected for RE technologies because high standard environmental indicators are used. The organisational/institutional dimension has obtained the highest scores for all the technologies, thus confirming that the management model has proven suitable for this kind of projects in rural areas. At the same time, the evaluation has identified some weaknesses in other dimensions that should be overcome in the race for sustainable development, and strategies to promote economic, social and environmental development are recommended.

2.5.10 Acknowledgments

The authors would like to thank the anonymous reviewers for their valuable comments, which have helped to enhance this paper. The authors are grateful for all the assistance and support provided by Practical Action—ITDG from Peru.

2.5.11 References

- Agrawal, B., Tiwari, G.N., 2011. Building integrated photovoltaic thermal systems: for sustainable developments. *Delhi. Royal Society of Chemistry*.
- Alanne, K., Saari, A., 2006. Distributed energy generation and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 10*, 539–558.

- Benecke, G., 2008. Success factors for the effective implementation of renewable energy options for rural electrification in India – Potentials of the clean development mechanism. *International Journal of Energy Research* 32, 1066–1079.
- Bhattacharyya, S.C., 2012a. Review of alternative methodologies for analysing off-grid electricity supply. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 677–694.
- Bhattacharyya, S.C., 2012b. Energy access programmes and sustainable development: A critical review and analysis. *Energy for Sustainable Development* 16, 260–271.
- Borges, K., Walter, A. and Rei, F., 2007. Cdm implementation in Brazil's rural and isolated regions: the Amazonian case. *Climatic Change* 84-1, 111-129.
- Boukhris, Y., Gharbi, L., Ghrab-Morcos, N., 2009. Modeling coupled heat transfer and air flow in a partitioned building with a zonal model: application to the winter thermal comfort. *Building Simulation* 2, 67–74.
- Brent, A.C., Rogers, D.E., 2010. Renewable rural electrification: sustainability assessment of mini-hybrid off-grid technological systems in the African context. *Renewable Energy* 35, 257–65.
- Breyer, Ch., Gerlach, A., Hlusiak, M., Peters, C., Adelman, P., Winiecki, J., Schützeichel, H., Tsegaye, S. and Gashie, W., 2009. Electrifying the poor: Highly economic off-grid PV systems in Ethiopia – A basis for sustainable rural development. *24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*.
- Castillo, O., Vera, R., 1998. Descentralización, gobierno local y saneamiento básico rural. Estudio de caso en el Perú. *Programa de Agua y Saneamiento. UNDP/World Bank*.
- Chang, K., Leeb, T., Linc, W., Chung, K., 2008. Outlook for solar water heaters in Taiwan. *Energy Policy* 36, 66–72.
- Chaurey A, Ranganathana, M. and Mohanty, P., 2004. Electricity access for geographically disadvantaged rural communities – technology and policy insights. *Energy Policy* 32, 1693–1705.
- Chaurey, A., Kandpal, T.C., 2010a. Assessment and evaluation of PV based decentralized rural electrification: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 2266–2278.
- Chaurey, A., Kandpal, T.C., 2010b. A techno-economic comparison of rural electrification based on solar home systems and PV microgrids. *Energy Policy* 38, 3118–29.
- Chen, B., Chen, H.J., Meng, S.R., Chen, X., Sun, P. and Ding, Y.H., 2006. The Effect of Trombe Wall on Indoor Humid Climate in Dalian, China. *Renewable Energy* 31, 333-343.
- Coello, J., Escobar, R., Dávila, C., Villanueva, G., Chiroque, J., 2006. Micro hydro power plants and other alternative energies: contributions of Practical Action – ITDG to rural development. *Environmental case studies and white/technical papers. Port of Entry, Environmental Business Network for the Americas*.

- Dincer, I., Rosen, M.A., 2005. Thermodynamic aspects of renewables and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9, 169–189.
- Doukas, H., Papadopoulou, A., Savvakis, N., Tsoutsos, T., Psarras, J., 2012. Assessing energy sustainability of rural communities using principal component analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 1949–57.
- Drinkwaard, W., Kirkels, A., Romijn, H., 2010. A learning-based approach to understanding success in rural electrification: Insights from Micro Hydro projects in Bolivia. *Energy for Sustainable Development* 14, 232–237.
- Energy Sector Management Programme (ESMAP), 2001. Peru: Rural electrification. *Washington: The World Bank Group*.
- Energy Sector Management Programme (ESMAP), 2010. Peru: National Survey of Rural Household Energy Use. *Washington: The World Bank Group*.
- Fernández-Baldor, A., Boni, A., Lillo, P., Hueso, A., 2014. Are technological projects reducing social inequalities and improving people’s wellbeing? A Capability Approach analysis of renewable energy based electrification projects in Cajamarca, Peru. *Journal of Human Development and Capabilities* 15, 13–27.
- Ferrer, I., Garfí, M., Uggetti, E., Ferrer-Martí, L., Calderon, A. and Velo, E., 2011. Biogas production in low-cost household digesters at the Peruvian Andes. *Biomass and bioenergy* 35, 1668–1674.
- Ferrer-Martí, L., Garwood, A., Chiroque, J., Escobar, R., Coello, J., Castro, M. 2010. A community small-scale wind generation Project in Peru. *Wind Engineering* 34(3), 277–288.
- Ferrer-Martí, L., Garwood, A., Chiroque, J., Ramirez, B., Marcelo, O., Garfi, M. and Velo, E., 2012. Evaluating and comparing three community small-scale wind electrification projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 5379–5390.
- García, V.G., Bartolomé M.M., 2010. Rural electrification systems based on renewable energy: the social dimensions of an innovative technology. *Technology in Society* 32, 303–11.
- Garfí, M., Gelman, P., Comas, J., Carrasco, W., and Ferrer, I., 2011. Agricultural reuse of the digestate from low-cost tubular digesters in rural Andean communities. *Waste Management* 31, 2584–2589.
- Garfí, M., Ferrer-Martí, L., Villegas, V., Ferrer, I., 2011. Psychrophilic anaerobic digestion of guinea pig manure in low-cost tubular digesters at high altitude. *Bioresource Technology* 102, 6356–6359

- Garfi, M., Ferrer-Martí, L., Velo, E. and Ferrer, I., 2012. Evaluating benefits of low-cost household digesters for rural Andean communities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 575–581.
- Göksal, T. and Kartal, S., 2010. Heat gain through Trombe wall using solar energy in a cold region of Turkey. *Scientific Research and Essays* 5 -18, 2768-2778.
- Gomez, M. and Silveira, S., 2010. Rural electrification of the Brazilian Amazon – achievements and lessons. *Energy Policy* 38, 6251–6260.
- Gomez, M.F., Silveira, S., 2012. Delivering off-grid electricity systems in the Brazilian Amazon. *Energy for Sustainable Development* 16, 155–67.
- Grieve, C., Lawson, R. and Henry, J., 2012. Understanding the non-adoption of energy efficient hot water systems in New Zealand. *Energy Policy* 48, 369–373.
- Gitonga S, Clemens E, editors, 2006. Expanding access to modern energy services: replicating, scaling up and mainstreaming at the local level. *UNDP*.
- Gullberg, M., Ilskog, E., Katyegac and M., Kjellström, B., 2005. Village electrification technologies—an evaluation of photovoltaic cells and compact fluorescent lamps and their applicability in rural villages based on a Tanzanian case study. *Energy Policy* 33, 1287–1298.
- Hordeski, M.F., 2011. New technologies for energy efficiency. *New York. The Fairmont Press*.
- International Atomic Energy Agency (IAEA), 2005. Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies. *Vienna: International Atomic Energy Agency*.
- International Energy Agency (IEA), 2010. World energy outlook 2010. *Paris: International Energy Agency*.
- Ilskog, E., 2008. Indicators for assessment of rural electrification—an approach for the comparison of apples and pears. *Energy Policy* 36, 2665–2673.
- Ilskog, E. and Kjellström, B., 2008. And then they lived sustainably ever after?—assessment of rural electrification cases by means of indicators. *Energy Policy* 36, 2674–2684.
- Jacobson, A., 2007. Connective Power: Solar Electrification and Social Change in Kenya. *World Development* 35-1, 144–162.
- Johansson, T., Goldemberg, J., 2002. Energy for sustainable development. A policy agenda. *United Nations Development Programme*.
- Katuwal, H., Bohara, A.K., 2009. Biogas: a promising renewable technology and its impact on rural households in Nepal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 2668–74.
- Kaygusuz, K., 2011. Energy services and energy poverty for sustainable rural development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 936–947.

- Langniss, O., Ince, D., 2004. Solar water heating: A viable industry in developing countries. *Refocus 5*, 18-21.
- Lhendup, T., 2008. Rural electrification in Bhutan and a methodology for evaluation of distributed generation system as an alternative option for rural electrification. *Energy for Sustainable Development 12*, 13-24.
- Li, W., Song, G., Beresford, M., Ma, B., 2011. China's transition to green energy systems: The economics of home solar water heaters and their popularization in Dezhou city. *Energy Policy 39*, 5909-5919.
- Love, T., Garwood, A., 2011. Wind, sun and water: Complexities of alternative energy development in rural Northern Peru. *Rural Society 20*, 294-307.
- Mainali, B., Silveira, S., 2013. Alternative pathways for providing access to electricity in developing countries. *Renewable Energy 57*, 299-310.
- Mainali, B., Pachauri, S., Rao, N.D., Silveira, S., 2014. Assessing rural energy sustainability in developing countries. *Energy for Sustainable Development 19*, 15-28.
- Midilli, A., Dincer, I., Ay, M., 2006. Green energy strategies for sustainable development. *Energy Policy 34*, 3623-3633.
- Millinger, M., Marlind, T., Ahlgren, E.O., 2012. Evaluation of Indian rural solar electrification: A case study in Chhattisgarh. *Energy for Sustainable Development 16*, 486-492.
- Modi, V., McDade, S., Lallement, D. and Saghir, J., 2005. Energy Services for the Millennium Development Goals. *The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank/ESMAP, Washington, DC, USA* <www.worldbank.org>.
- Nguyen, K., 2007. Alternatives to grid extension for rural electrification: Decentralized renewable energy technologies in Vietnam. *Energy Policy 35*, 2579-2589.
- Ortiz, W., Dienst, C., and Terrapon-Pfaff, J., 2012. Introducing Modern Energy Services into Developing Countries: The Role of Local Community Socio-Economic Structures. *Sustainability 4*, 341-358.
- Paish, O., 2002. Small hydro power: technology and current status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 6*, 537-56.
- Palit, D., 2013. Solar energy programs for rural electrification: Experiences and lessons from South Asia. *Energy for Sustainable Development 17*, 270-279.
- Pappas, C., Karakosta, C., Marinakis, V., Psarras, J., 2012. A comparison of electricity production technologies in terms of sustainable development. *Energy Conversion and Management 64*, 626-632.

- Pasternak, A., 2000. Global energy futures and human development: a framework for analysis. *Lawrence Livemore National Library*.
- REN21, 2008. Renewables 2007—Global Status Report. *Washington, D.C Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*.
- Ruiz-Mercado, I., Masera, O., Zamora, H. and Smith, K., 2011. Adoption and sustained use of improved cookstoves. *Energy Policy* 39, 7557–7566.
- Saadatian, O., Sopian, K., Lim, C.H., Asim, N. and Sulaiman, M.Y., 2012. Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 6340–6351.
- Sánchez, T., Williams, A. and Smith, N. 2006. The critical factors for success of stand-alone energy schemes. *International Conference on Renewable Energy for Developing Countries*.
- Sharachandra, M.L., 1991. Sustainable Development: A Critical Review. *World Development* 19-6, 607-621.
- Spalding-Fecher, R., Winkler, H., Mwakasonda, S., 2005. Energy and the World Summit on Sustainable Development: what next? *Energy Policy* 33, 99–112.
- Shyu, C., 2013. End-users' experiences with electricity supply from stand-alone mini-grid solar PV power stations in rural areas of western China. *Energy for Sustainable Development* 17, 391–400.
- Terrapon-Pfaff, J., Dienst, C., König, J., Ortiz, W., 2014. How effective are small-scale energy interventions in developing countries? Results from a post-evaluation on project-level. *Applied Energy (in press)*.
- Terrapon-Pfaff, J., Dienst, C., König, J., Ortiz, W., 2014. A cross-sectional review: Impacts and sustainability of small-scale renewable energy projects in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 40, 1-10.
- Thumann, A., Mehta, D.P., 2008. Handbook of energy engineering. *Fairmont Press*.
- Torcellini, P. and Pless, S., 2004. Trombe Walls in Low-Energy Buildings: Practical Experiences. *National Renewable Energy Laboratory*.
- Troncoso, K., Armendáriz, C. and Alatorre, S., 2013. Improved cook stove adoption and impact assessment: A proposed methodology. *Energy Policy* 62, 637-645.
- Ugwu, O.O., Haupt, T.C., 2007. Key performance indicators and assessment methods for infrastructure sustainability—a South African construction industry perspective. *Building and Environment* 42, 665–80.
- UN, 2001. Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies. *New York, USA: United Nation; 2001 [www.un.org/esa/sustdev/publications/indisd-mg2001.pdf]*

- UN-CSD, 1996. Indicators of sustainable development: framework and methodologies. *The United Nations Commission on Sustainable Development (CSD)*.
- UNDESA, 2007. Indicators for sustainable development. Guidelines and Methodologies. *New York: Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat*.
- UNDP, 2002. Energy for sustainable development. A policy agenda. *New York: United Nations Development Programme*.
- UNDP, 2006. Global partnership for development. Annual report. *New York: United Nations Development Programme*.
- UNDP, 2010. Technology Needs Assessment for Climate Change. *New York: United Nations Development Programme*.
- Valer, L.R., Mocelin, A., Zilles, R., Moura, E., Nascimento, C.S., 2014. Assessment of socioeconomic impacts of access to electricity in Brazilian Amazon: case study in two communities in Mamirauá Reserve. *Energy for Sustainable Development 20*, 58–65.
- van Els, R.H., Souza, J.N., Pinho, J.C., 2012. The Brazilian experience of rural electrification in the Amazon with decentralized generation – The need to change the paradigm from electrification to development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 16*, 1450–1461.
- Venkataraman, C., Sagar, A.D., Habib, G., Lam, N. and Smith, K.R., 2010. The Indian National Initiative for Advanced Biomass Cookstoves: The benefits of clean combustion. *Energy for Sustainable Development 14*, 63–72.
- Vera, I. and Langlois, L, 2007. Energy indicators for sustainable development. *Energy 32*, 875–882.
- Villavicencio, A., 2002. Sustainable Energy Development: The Case of Photovoltaic Home Systems. *UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, Riso National Laboratory, Roskilde, DK*.
- Walekhwa, P., Mugisha, J. and Drake, L., 2009. Biogas energy from family-sized digesters in Uganda: Critical factors and policy implications. *Energy Policy 37*, 2754–2762.
- World Energy Outlook (WEO), 2012. Measuring progress towards energy for all. *Paris: International Energy Agency*.
- World Energy Trilemma (WET), 2012. Energy sustainability index. *London: World Energy Council*.
- Williams, A.A., Simpson, R., 2009. Pico hydro – Reducing technical risks for rural electrification. *Renewable Energy 34*, 1986–1991.
- Yadoo, A. and Cruickshank, H., 2010. The value of cooperatives in rural electrification. *Energy Policy 38*, 2941–2947.

- Yadoo, A. and Cruickshank, H., 2012. The role for low carbon electrification technologies in poverty reduction and climate change strategies: A focus on renewable energy mini-grids with case studies in Nepal, Peru and Kenya. *Energy Policy* 42, 591–602.
- Zhang, X., Kumar, A., 2011. Evaluating renewable energy-based rural electrification program in western China: Emerging problems and possible scenarios. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 773–779.
- Zomers, A., 2003. The challenge of rural electrification. *Energy for Sustainable Development* 7-1, 69-76.

3. Discusión general de los resultados

Esta sección aborda las preguntas generales de la tesis sobre la base de los marcos, discusiones y resultados de los distintos capítulos. Cabe recordar que los objetivos de la tesis eran exploratorios, por lo que las preguntas se abordan proponiendo conceptos e hipótesis, así como identificando dimensiones de los conceptos y procesos estudiados y posibles conexiones. Debe entender el lector que no se pretende dar una respuesta rotunda y generalista a las preguntas de investigación, cuya validez pueda ser extrapolada a cualquier tipo de proyecto tecnológico en cualquier contexto socioeconómico. En cambio, como se ha comentado en la Sección 1.5, se pretende contribuir al establecimiento de hipótesis y/o teorías a partir del estudio, la observación y recolección de datos, generando un proceso de razonamiento inductivo.

3.1 Objetivo 1. Analizar los aportes del enfoque de Desarrollo Humano Sostenible al análisis de proyectos de Energías Renovables en zonas rurales aisladas de países en vías de desarrollo.

A continuación se discuten los resultados relacionados con el primer objetivo de la investigación, el cual pretende profundizar en las bondades del enfoque de DHS para analizar proyectos de EERR en zonas rurales aisladas de países en vías de desarrollo. Cabe mencionar que, como se verá en las próximas secciones, si bien el lector podría identificar aspectos que podrían ser visibilizados utilizando otros enfoques, como los descritos en la Sección 1.3, existe gran cantidad de información que hubiera resultado invisible al análisis si no hubiera sido realizado con el enfoque de DHS.

3.1.1 ¿La información de tipo técnico es suficiente para diseñar los sistemas en este tipo de proyectos?

Uno de los principales problemas cuando se diseñan los sistemas en proyectos de EERR es definir el conjunto de criterios para definir la mejor alternativa entre la multitud de posibles soluciones para lograr dotar de energía a las comunidades rurales. Este problema es especialmente importante en el caso de proyectos de electrificación rural, cuyos sistemas son complejos y los costes de inversión son elevados, en zonas aisladas de la sierra andina, donde el elevado grado de dispersión y bajos niveles de conocimiento técnico son un problema considerable para el éxito de los proyectos.

En este proceso de diseño, los criterios técnicos son muy importantes para llegar a la solución óptima. En primer lugar, es fundamental analizar los recursos energéticos disponibles a nivel micro en cada comunidad para entender qué tecnologías pueden ser más apropiadas en cada área. Como caso ejemplar de la importancia de esta evaluación encontramos el caso de Alto Perú, en donde distintos recursos energéticos predominan en distintas zonas de la comunidad. En segundo lugar, es necesario realizar un análisis de la demanda energética, tanto presente como futura. Sin esta información resulta imposible dimensionar los sistemas de forma adecuada para garantizar la

cobertura de las necesidades energéticas de los futuros usuarios. Complementariamente, deben tenerse en cuenta los costes de operación y mantenimiento para cada tecnología, teniendo en cuenta especialmente las diferencias entre sistemas individuales y en microrred. En el primer caso, el operador debe trasladarse largas distancias para revisar los sistemas domiciliarios de cada usuario, mientras que en el segundo caso los sistemas se encuentran centralizados en un único punto, facilitando la tarea significativamente. Además, debe tenerse en cuenta la resistencia a la rotura y vida útil de los sistemas, confiabilidad en la disponibilidad de recurso y autonomía, así como la flexibilidad del conjunto para dotar de electricidad a nuevos usuarios potenciales en el futuro.

Hasta aquí se ha definido un procedimiento de diseño convencional, el cual no considera las características socioeconómicas locales. No obstante, tras el análisis de proyectos mediante el DHS, hemos aprendido que la solución técnicamente más adecuada y económicamente más rentable no siempre resulta la más satisfactoria para las familias usuarias. Si bien sabemos que el proceso de implementación de los proyectos resulta fundamental para el éxito en términos de desarrollo, un diseño inadecuado puede ser un obstáculo insalvable, pudiendo derivar en un fracaso inevitable del proyecto.

Teniendo estos puntos en consideración, se han identificado distintos criterios que podríamos considerar “sociales”, los cuales deben ser tenidos en cuenta en el proceso de diseño de los sistemas para maximizar las probabilidades de éxito de los proyectos.

En primer lugar, como se ha descrito en puntos anteriores, la gestión de los sistemas es un factor clave a tener en cuenta. En este sentido, el diseño de los sistemas debe facilitar al máximo la gestión de los mismos.

En segundo lugar, debe asegurarse la equidad en la dotación de energía. En el caso de Alto Perú, si bien los sistemas se diseñaron para dotar de la misma cantidad de energía al año a cada familia, los usuarios de la microrred eólica tenían periodos de bajo o nulo recurso, quedándose sin energía en algunos momentos. Esto generaba insatisfacción y conflicto con los usuarios de SFV y MCH, llegando en última instancia a limitar la voluntad de pago de la tarifa en algunos casos. Otro ejemplo de este tipo lo encontramos en microrredes sin limitadores de consumo, donde usuarios con grandes consumos pueden dejar sin energía al resto.

En tercer lugar, debe considerarse la capacidad de pago de las familias en concepto de tarifa energética. En este sentido, en poblaciones muy vulnerables deben priorizarse las alternativas que minimicen los costes de operación, mantenimiento y gestión, aunque puedan no ser las soluciones técnicas que minimicen la inversión inicial.

En cuarto lugar, deben prevalecer las soluciones que maximicen la capacidad de las familias de generar nuevos ingresos a través de actividades productivas, así como la generación de nuevos puestos de trabajo. Encontramos un ejemplo claro en este sentido en el caso de Alto Perú. Mientras que los sistemas fotovoltaicos individuales sólo proporcionan electricidad para usos domésticos,

las microrredes permiten realizar otras actividades en periodos con elevados recursos. En particular, mientras que la MCH permite el desarrollo de actividades productivas, los sistemas fotovoltaicos individuales limitan algunas actividades como, por ejemplo, el caso de un productor de queso que no pudo mejorar su negocio dado que su sistema no tenía capacidad suficiente.

Finalmente, debe prestarse especial atención a los centros más importantes para la población. En las comunidades rurales analizadas las escuelas, los centros de salud y las iglesias tienen una importancia central para los habitantes. Estos centros tienen un perfil de consumo muy particular, y variable entre comunidades, por lo que requerirán un análisis concreto. Además, dado que el servicio que prestan estos centros es fundamental para la comunidad, deberán dimensionarse los sistemas para garantizar tanto el suministro actual como el futuro, contemplando posibles ampliaciones en estos centros que puedan darse en el futuro.

3.1.2 En cuanto a los impactos del acceso a la electricidad sobre la vida de las personas, ¿qué aspectos novedosos de este tipo de proyectos se identifican gracias a este enfoque?

Los resultados de la investigación más relevantes en cuanto a esta pregunta de investigación se detallan en la Sección 2.2.3. Sin embargo, para mejorar la cohesión del documento y facilitar la lectura, se han incluido también en esta sección. Como fruto de la investigación, se han identificado los principales impactos de este tipo de proyectos en relación a los aspectos que han resultado más valorados en la vida por las propias usuarias y usuarios. Como se ha comentado al inicio de este capítulo, es importante destacar que no se pretende dar una respuesta generalista cuya validez pueda ser extrapolada a cualquier tipo de proyecto tecnológico en cualquier contexto socioeconómico, si no que se pretende contribuir a este campo de conocimiento con información sobre un contexto concreto. A continuación se detallan los principales hallazgos de la investigación:

- a) Existe una mejora en la educación de los niños y niñas de la comunidad ya que con la electricidad tienen la capacidad de estudiar en las noches. Gracias a esto, las madres valoran que ahora sus hijos e hijas tendrán mejores oportunidades para “saberse defender en la vida”. Complementariamente, han manifestado que con la electricidad sienten que tienen más posibilidades de disponer de computadoras e internet, mejorando así las posibilidades de sus hijos de “ser profesionales”.
- b) Disponen de mejores condiciones de salud ya que mejoran los cuidados en la noche en caso de enfermedad: “puedes agarrar en la noche las medicinas o hervir el agua”.
- c) Se ha producido una mejora en las relaciones vecinales de las mujeres. Ahora pueden conversar las noticias de la TV y esporádicamente reunirse en la vivienda de algún usuario que disponga de la misma.
- d) Gracias a disponer de un alumbrado de mayor calidad, las mujeres afirman que en la actualidad se producen menos discusiones con sus esposos. Además, este nuevo recurso les permite realizar un mayor número de actividades y tareas a lo largo del día, ya que con anterioridad en horas de oscuridad dormían.
- e) La posibilidad de disponer de luz en los patios frontales de las viviendas mejora la sensación de seguridad dentro de las viviendas de los usuarios.

- f) Los pobladores de religión evangelista han visto reforzada su espiritualidad, ya que con la electrificación de la iglesia pueden disponer de sistemas audiovisuales con las que ver películas religiosas y disfrutar de una misa en mejores condiciones.
- g) Se han visto reforzadas las oportunidades de ocio en la comunidad ya que, por un lado, los habitantes han expresado su satisfacción por poder ver la televisión en las noches y, por otro, ahora tienen la capacidad de organizar fiestas y bailes nocturnos para celebrar eventos de relevancia para la comunidad.
- h) Los recursos económicos de las familias se han visto incrementados tras el proyecto de electrificación ya que se han reducido los gastos en velas y querosene. Complementariamente, cabe destacar el caso de una familia propietaria de una pequeña bodega que ahora puede permanecer abierta durante más horas, con lo que queda ampliada su cuota de mercado a los viajeros que circulan por la carretera adyacente en las noches y así incrementar sus ingresos.
- i) Se ha comprobado que se ha incrementado el sentimiento de comodidad en la vivienda. En la actualidad pueden disfrutar de un hogar con buen ambiente y saneado, ya que con el alumbrado se facilitan las tareas de limpieza doméstica.

Con todo, podemos afirmar que los proyectos energéticos están expandiendo el conjunto de capacidades de la población. En primer lugar, podemos afirmar que de manera directa este tipo de proyectos tienen un impacto positivo en la educación, en la salud y en las posibilidades de ocio. Pero además, es posible que en el futuro se generen nuevas oportunidades derivadas a las que los niños y niñas de la comunidad podrían acceder en el futuro gracias a la mejora en la educación, como puede ser “saberse defender”, tener mejor acceso a trabajo cualificado o conseguir un nivel mayor de ingresos.

En términos de agencia, no se han encontrado evidencias de fortalecimiento de la agencia individual en los miembros de la comunidad. En cambio, las capacitaciones sí sirven para reforzar el sentimiento de fortaleza comunitaria. Se constata que, según la cosmovisión andina, una comunidad es fuerte cuando la población está unida, tienen buenas capacidades organizacionales y buenas autoridades. En este sentido, sí se podría afirmar que el proyecto sirve para reforzar el “poder propio” de los miembros de la comunidad, entendiendo éste como un requisito previo imprescindible para generar agencia. Eso sí, dado que son mayoritariamente los hombres quienes participan en las capacitaciones, las mujeres quedan fuera de este proceso de empoderamiento.

En cuanto a los aprendizajes que los usuarios obtienen gracias a los proyectos, se destaca la satisfacción de la población en cuanto a la calidad de las capacitaciones y el gran valor que tienen para ellos. Mención especial merecen los operadores y administradores, quienes reconocen que gracias a las capacitaciones que han recibido algunos miembros de la comunidad, ahora “pueden ir a trabajar de electricista a cualquier lado”.

Por último, se observa que el cambio más importante que los usuarios valoran es el incremento de horas útiles durante el día, a costa de una reducción de horas de sueño. Gracias a la electricidad pueden iniciar sus tareas más temprano en la mañana, ya que disponen de un alumbrado de calidad en la vivienda. Además, dado que disponen de nuevas comodidades, en la noche pueden

ver la televisión y tener un mejor acceso a la información, pueden reunirse, tejer o, simplemente, disfrutar de la compañía de los familiares, sin necesidad de acostarse tan temprano como hacían anteriormente.

3.1.3 En términos de equidad de género, ¿es capaz el enfoque de DHS de caracterizar el impacto de proyectos de acceso a la energía en zonas rurales en este sentido?

En esta investigación se han incorporado herramientas novedosas que han permitido visibilizar las desigualdades de género y transformar las estructuras de poder, de manera que se pueda alcanzar un mayor equilibrio en las relaciones entre hombres y mujeres. En este sentido, el empleo del enfoque de DHS ha resultado fundamental para el análisis en profundidad de la casuística en cuestión.

En cuanto a los resultados de la investigación, en primer lugar, se ha demostrado que existe realmente una ampliación del set de capacidades producto del proyecto de electrificación. Sin embargo, ésta ha resultado ser desigual entre hombres y mujeres. Este hecho puede ser explicado en base a tradiciones de tipo social y cultural, que impiden a la mujer participar en espacios públicos, tomar decisiones o desempeñar un rol productivo al mismo nivel que los hombres.

La expansión de capacidades derivadas del proyecto es diferente entre hombres y mujeres. Es común que los hombres vean la televisión o toquen un instrumento musical durante la noche mientras que las mujeres tejen o cosen hasta tarde. Por lo tanto los hombres extienden su tiempo de ocio, mientras que las mujeres extienden sus horas de trabajo. Si bien las mujeres afirman su felicidad por ser capaces de completar estas tareas y así mejorar el bienestar de sus familias, parece que estamos frente a una preferencia adaptativa de las mujeres porque, como Iversen (2003) señaló, sacrifican su propio bienestar personal por el bien de la familia. Como otro ejemplo significativo, por ejemplo, merece destacar que los hombres han manifestado que gracias al nuevo recurso son capaces de tener un mayor acceso a la cultura y a la información ya que pueden leer en las noches, así como “acercarse más a Dios” leyendo la Biblia. Sin embargo, dada la gran diferencia en el grado de alfabetización entre hombres y mujeres, éstas no pueden disfrutar de estas nuevas opciones al mismo nivel que sus esposos.

En el terreno organizacional, se ha reforzado la Ronda Campesina ya que ahora sus miembros (todos hombres) pueden tener reuniones en las noches, facilitando el acceso a las mismas a sus integrantes. Sin embargo, esta mejora en cuanto a la participación en organizaciones de relevancia dentro de la comunidad no se da en las mujeres, ya que su rol dentro de las mismas sigue relegado a un segundo plano. En efecto, las mujeres mencionan su falta de tiempo o posibilidades de asistir a reuniones o asambleas en los horarios en que habitualmente éstas se establecen: "No podemos llevar a los niños a las reuniones" o "reuniones son muy temprano y hay que ordeñar las vacas" eran respuestas dadas durante las entrevistas. Además, cuando las mujeres asisten a las reuniones tienden a adoptar un papel de escucha en lugar de uno activo. Esto es confirmado por algunos testimonios como el de la Presidenta de la APAFA (asociación de padres de familia) en Chorro Blanco, que explica por qué ella no habla en las reuniones: "A veces me siento un poco tímida, no

puedo encontrar las palabras y me da miedo". Otra mujer en Alto Perú explica: "Me hubiera gustado dar mi opinión, pero fue mi marido quien la dio".

En las capacitaciones a usuarios se ha observado que la adquisición de conocimientos técnicos sobre los sistemas eléctricos mejora la autoestima de la población. Pero, ¿quién asiste a las reuniones de capacitación? Una vez más, es la población masculina quien puede aprovecharlas. En los casos en que las mujeres afirman haber aprendido algo sobre la operación o el mantenimiento de los sistemas es, en general, porque sus maridos les enseñaron: "Sólo mi marido tomó parte en la formación" o "No aprendí, lo hizo mi marido" explican dos mujeres desde el Alto Perú y Chorro Blanco.

En el caso de las capacitaciones para operadores y administradores, las cuales han resultado las más eficaces en cuanto a ampliación de capacidades se refiere, éstas se restringen a los hombres. "Me siento más valioso", "Me siento más apreciado por la comunidad" o "Me gustaría ser operador porque aprendo más. Saber algo, puedo ir a trabajar como electricista en cualquier lugar" son algunas de las respuestas dadas por los entrevistados que estaban recibiendo entrenamiento para ser operadores o administradores de la comunidad. Sin embargo, las mujeres no tienen acceso a estos puestos de responsabilidad, por diversas razones. En primer lugar, estos son tradicionalmente puestos masculinos. En el contexto rural de Cajamarca, se supone que cualquier puesto técnico pertenece a los hombres. Por ejemplo, los hombres son quienes están a cargo de la construcción de las infraestructuras, mientras que las mujeres llevan los materiales y preparan la comida. Esto, junto con un menor nivel de educación de las mujeres y la incompatibilidad de horarios de las sesiones de capacitación para operadores y administradores, dificulta la expansión de la capacidad del conjunto de mujeres.

3.1.4 En cuanto a la relevancia del proceso de implementación del modelo de gestión en el potencial transformador de este tipo de proyectos, ¿qué aspectos novedosos se identifican gracias a este enfoque?

Tomando en consideración las cuatro dimensiones del DHS establecidas por Ul Haq (1995), a continuación se detallan los aspectos más relevantes del proceso de los proyectos en cuanto a Equidad y Diversidad, Sostenibilidad, Empoderamiento y Productividad (ver Sección 2.4.4.1).

Equidad y Diversidad

En cuanto a los procesos de capacitación a operadores y administradores, estos se llevan a cabo en un centro de formación en la ciudad de Cajamarca, obligando a los pobladores a salir de la comunidad, incluso por varios días. Esto implica dejar desatendido el ganado y los campos de cultivo, lo cual se erige en una barrera insuperable para muchas personas. De forma análoga, la formación de usuarios se realiza generalmente en el centro comunitario o en la escuela. Sin embargo, este método ha mostrado algunos puntos débiles. Los usuarios de los hogares más alejados no suelen asistir debido a la distancia.

Por otra parte, las personas que participan en la formación tienen niveles diferentes de la educación, y muchas personas no logran entender algunos de los conceptos. Para superar estas deficiencias, en el Alto Perú, se modificó el enfoque de la formación de los usuarios, y talleres para grupos de familias se mantuvo cerca en los momentos apropiados para permitir la participación de las mujeres y los jóvenes. Con esta mejora, la asistencia de familias enteras se incrementó de manera significativa, y, con menos usuarios por sesión, que era más fácil para asegurarse de que todos los participantes entienden los conceptos.

Sostenibilidad

Cuando la iniciativa de la realización del proyecto no nace de la propia comunidad, sino que es instigada por alguna institución ajena, se encuentran niveles más bajos de participación y motivación en comparación con los proyectos propuestos por la comunidad. Esta menor participación da pie a menores niveles de adopción de tecnología, participación en reuniones y formación, y peor mantenimiento de los equipos por parte de los usuarios. Este conjunto de debilidades puede aumentar la tasa de averías y morosidad, lo que afecta a la sostenibilidad de los sistemas.

Como se explicó antes, muchos de los usuarios entrevistados no entendían claramente lo que se les explicó en las sesiones de entrenamiento. Esta debilidad se vuelve especialmente importante para los sistemas individuales. Los usuarios de una microrred no son responsables de los equipos ya que el sistema está centralizado en un solo lugar y el operador se asegura de que está funcionando correctamente. Por el contrario, en los sistemas fotovoltaicos o eólicos individuales, el equipo se encuentra instalado en los hogares. Por lo tanto, la relación entre los usuarios y las tareas de operación y mantenimiento es más fuerte, y los usuarios se ven obligados a reforzar sus conocimientos técnicos para minimizar el riesgo de averías. De hecho, los sistemas de microrredes analizados han demostrado ser más fiable y ofrecer un mejor servicio de calidad a los usuarios, en especial las microcentrales hidroeléctricas, porque los operadores pueden realizar más fácilmente las tareas de operación y mantenimiento de los sistemas centralizados. En efecto, se encontró un mayor número de fallos en los sistemas individuales, a menudo debido a la falta de capacitación de los usuarios, lo que aumenta los costos de operación y mantenimiento y reduce la confianza de los usuarios en los sistemas y la disposición a pagar, lo que conduce, en última instancia, a la reducción de la sostenibilidad de los sistemas.

Empoderamiento

Para mejorar la participación de la gente en el proyecto y promover la identificación de los usuarios con la tecnología, PA requiere la participación en la construcción de la infraestructura y la instalación de los equipos. Sin embargo, se observaron diferentes niveles de participación en cada comunidad en función de las diferentes características de los sistemas. En particular, se encontró una fuerte diferencia entre las MCH y los sistemas SFV y eólicos individuales. Las MCH requieren altos niveles de organización por un largo período de tiempo durante la construcción de la infraestructura. El proceso consiste en una rutina de reuniones comunitarias frecuentes y de

colaboración entre pobladores, lo que aumenta el sentido de comunidad y fortalece los mecanismos de resolución de conflictos. Esto mejora el proceso de empoderamiento colectivo dentro de las comunidades. Por el contrario, en el caso de los SFV y/o eólicos individuales, estos procesos no requieren tanto tiempo o trabajo comunal. Por ejemplo, podemos comparar los 50 días de trabajo proporcionados por cada usuario durante la construcción de las obras civiles de una MCH, organizados en equipos rotativos, contra las pocas horas necesarias para instalar un SFV individual, donde los vecinos no se ayudan entre sí.

Sólo en una comunidad se han observado cambios significativos en términos de empoderamiento colectivo. Este proceso está íntimamente ligado al fortalecimiento del liderazgo de la autoridad de la comunidad a lo largo del proceso del proyecto, que ha llevado a su comunidad a exigir una mayor inversión por parte del municipio. De hecho, la comunidad ya ha conseguido llevar a cabo proyectos para reemplazar los postes de madera de las líneas eléctricas por postes de concreto, mejorar el canal de agua de la MCH e implementar sistemas de saneamiento de calidad en toda la comunidad. Sin embargo, en las otras comunidades analizadas no se han observado cambios significativos en este sentido, lo que demuestra que este tipo de proyectos no promueven el empoderamiento por sí mismos, si no que requieren de estrategias concretas por parte del equipo responsable del proceso del proyecto.

En este sentido, se encontró que los procesos de formación son excesivamente técnicos. No se centran en el establecimiento de un proceso de desarrollo de la comunidad en sentido amplio, si no en la sostenibilidad técnica de los sistemas, lo que puede ser una de las razones por las que los niveles de empoderamiento alcanzados por la población han sido bajos en general.

Productividad

En general, se han identificado bajos niveles de mejora en términos de productividad gracias al acceso a la electricidad en comunidades rurales andinas. En el caso de Campo Alegre y Alto Perú, los sistemas fueron diseñados para satisfacer las necesidades domésticas solamente, y no se consideró la generación de negocios. Por lo tanto, aunque algunas iniciativas productivas puedan aparecer en algunas comunidades, los sistemas instalados no son capaces de satisfacer este tipo de demanda, lo que limita gravemente el impacto de estos proyectos en términos de productividad. Al mismo tiempo, si bien en algunas comunidades, como Suro Antivo, donde el sistema suministra la energía suficiente, la gente tiene iniciativa para establecer nuevos negocios, no se ha creado ningún negocio debido a la falta de formación específica durante la ejecución del proyecto. Sólo pequeñas tiendas de comestibles usan la luz para permanecer abiertas por la noche, lo que significa que los proyectos no son alentadores nuevos negocios.

Además, la falta de participación de las personas en el diseño del modelo de gestión ha limitado la capacidad de las personas para hacer innovaciones y mejoras. De hecho, sólo una innovación ha sido identificada, en la comunidad de Campo Alegre, donde se utilizan los fondos de reserva de los pagos mensuales como un fondo rotatorio, recayendo la responsabilidad de la supervisión

de este proceso a la unidad de control. En este caso fue la comunidad misma quien promovió el acceso al crédito para la generación de pequeñas empresas, aumentando así la productividad.

3.1.5 ¿Qué nivel de sostenibilidad puede tener un modelo de gestión comunitario integral diseñado con criterios de DHS? ¿Este nivel de sostenibilidad varía en función de la tecnología?

Uno de los productos de la investigación ha sido el desarrollo de un modelo de gestión basado en el DHS, capaz de gestionar cualquier número de tecnologías distintas. En concreto, se ha diseñado un modelo de gestión microempresarial capaz de gestionar, valga la redundancia, cualquier tipo de tecnología energética. Este modelo ha sido implementado, a modo de proyecto piloto, en la comunidad de Pucara, en zona rural andina de Perú. Gracias a este modelo, junto con un proceso de proyecto acorde con el DHS, se ha demostrado el logro de elevados niveles de sostenibilidad.

En general, el proyecto en su conjunto está funcionando bien, con un bajo nivel de interrupciones, las reparaciones toman poco tiempo, la población participa activamente en las asambleas de toma de decisiones, la situación financiera de la organización es segura y los usuarios están muy satisfechos en general. Podemos afirmar el modelo de gestión propuesto ha sido eficaz para maximizar la sostenibilidad del proyecto, sobre todo teniendo en cuenta el alto nivel de complejidad del mismo, la gran cantidad de diferentes tecnologías, y los desafíos y obstáculos que tuvieron que superar a lo largo del proceso, tales como la falta de conocimientos técnicos y la experiencia de la población, las débiles capacidades organizativas y la falta de proyectos similares de los que tomar lecciones aprendidas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la dimensión mejor valorada es la organizativa/institucional, seguida por la técnica, la ambiental y económica, con resultados similares, y finalmente la social/ética. A continuación se presentan los puntos más destacables para cada dimensión:

- **Dimensión organizativa/institucional:** Esta dimensión es la más dependiente del modelo de gestión y es la mejor valorada en Pucara, lo que significa que el diseño del modelo de gestión fue eficaz, eficiente y apropiado para el contexto local. En todos los casos se desarrolló un proceso de formación eficaz para asegurar que todas las partes interesadas tenían los conocimientos adecuados acerca de las tecnologías y el modelo de gestión. Todos los usuarios participaron durante la instalación de los sistemas. Este proceso implicó una rutina de reuniones de la comunidad frecuentes y colaboración estrecha, lo que aumentó el sentido de comunidad y fortaleció los mecanismos de resolución de conflictos. Además, se establecieron procesos de toma de decisiones asamblearios, lo cual promovió procedimientos de poder horizontales y altas tasas de asistencia de los usuarios, lo cual se tradujo en procesos democráticos de alta calidad. Por otra parte, se enfatizó en la *accountability* y la *answerability*, manteniendo transparencia en las cuentas financieras y estableciendo canales efectivos a través de los cuales se pueden

elevant reclamaciones. Así, todos los actores tienen confianza en el modelo de gestión empleado.

- **Dimensión técnica:** Como hay operadores locales, los servicios de mantenimiento están disponibles de forma permanente. Así, los sistemas están en buen estado y el nivel de interrupciones es mínimo. Todas las tecnologías se consideran seguros para usar y operar, y por lo general cumplen con los requerimientos de la demanda. En cuanto a nivel de satisfacción de los aldeanos con respecto a las tecnologías y los servicios de operación y mantenimiento, los resultados obtenidos son generalmente altos. En el primer caso todas las tecnologías están muy bien valoradas. Sin embargo, el nivel de satisfacción con biodigestores parece ser menor, ya que no cumplen por completo la demanda de la cocina y la fertilización. En el segundo caso, el nivel de satisfacción es mayor en el caso de la MCH porque, dado que se trata de un sistema centralizado, es más fácil para el operador realizar las tareas de mantenimiento de forma frecuente. En el caso de las tecnologías individuales, el nivel de satisfacción con los servicios de operación y mantenimiento es menor ya que las tareas de mantenimiento son menos frecuentes a medida que los hogares están lejos el uno del otro y se necesita más tiempo para que los operadores visiten cada casa, en comparación con los sistemas centralizados.
- **Dimensión ambiental:** Los indicadores utilizados para esta dimensión se basaron en criterios medioambientales muy ambiciosos, dado que el medio ambiente es un aspecto clave en la cosmovisión andina. Esa es la razón por la cual, a pesar de que todas las tecnologías utilizan recursos renovables y no se han producido impactos ambientales adversos, los resultados no han sido tan elevados como si se hubieran utilizado los criterios menos exigentes. Sólo la electricidad sustituye combustibles "sucios" como baterías, velas o queroseno, mientras que el resto de tecnologías reducen las necesidades de leña, la cual es considerada como un recurso renovable dado que su uso en Pucara es responsable y equilibrado con la producción forestal. En general se utilizaron materiales locales, a excepción de los paneles solares, la turbina hidráulica, la geomembrana de los biodigestores y los tubos de los sistemas solares térmicos. Finalmente, muchas de las tecnologías no pueden ser reutilizadas o recicladas fácilmente una vez han llegado al final de su vida útil. Los paneles solares, baterías y dispositivos electrónicos, plásticos de invernadero, geomembrana, tubos de PVC y escombros no pueden ser reciclados en la zona. Sólo el canal de agua de la MCH puede ser reutilizado para el riego, el tanque de agua de los sistemas solares térmicos se puede reutilizar para almacenamiento de líquidos y la madera de los muros Trombe puede ser utilizada como leña.
- **Dimensión económica:** Dos temas principales se abordan en esta dimensión: la cobertura de los costos de mantenimiento de las tecnologías durante su ciclo de vida y la promoción del desarrollo económico aldeanos. El primer aspecto depende principalmente del modelo de gestión. La tarifa a través de procesos participativos entre los usuarios y el equipo técnico del proyecto, con lo que la tarifa resulta adecuada para la mayoría de usuarios y el nivel de morosidad es bajo en todos los casos. Los costos de operación y mantenimiento también se cubren. El segundo aspecto depende principalmente de las características de cada tecnología. En este caso los resultados son más variables que en el

anterior. El acceso a la electricidad sólo ha permitido pequeñas preexistentes víveres para abrir en la noche, que no es un aumento significativo en términos de generación de ingresos teniendo en cuenta el impacto global en cada familia. Solamente los biodigestores han demostrado ser eficaces en el aumento de la productividad, como el fertilizante producido permite un aumento considerable en la producción de cultivos y pastos. No se observaron usos productivos en el resto de las tecnologías. Además, aumentan los ingresos podrían ser alcanzados por el ahorro de dinero de los combustibles utilizados anteriormente. En este caso, los sistemas de electricidad reducen estos gastos considerablemente a medida que la tarifa es menor que el costo de velas, baterías o queroseno. El resto de las tecnologías reducen la cantidad de leña utilizada, pero como en Pucará este recurso es abundante y los habitantes no tienen que pagar por ello, no se han observado mejoras económicas.

- **Dimensión social/ética:** Esta dimensión tiene la puntuación más baja para la mayoría de las tecnologías. No todas las familias tuvieron acceso a todas las tecnologías debido a algunas de las características de las mismas, así como a limitaciones presupuestarias. Otra cuestión importante que ha disminuido la puntuación se relaciona con la equidad de género. En las comunidades andinas estructuras de poder están sesgadas hacia la dominación masculina. Estas estructuras son tan rígidas que es muy difícil de alcanzar objetivos ambiciosos en términos de equidad de género durante el período de ejecución de estos proyectos. Por esa razón, a pesar de la promoción de la participación de las mujeres en los procesos de formación y la inclusión de las mujeres en roles de responsabilidad, estos objetivos no pudieron ser alcanzados. Por otra parte, el proceso de adopción de tecnología también fue especialmente considerado, ya que es un factor determinante en la promoción de la sostenibilidad. Por eso, todos los usuarios fueron involucrados en todas las fases del proyecto, incluso como mano de obra. Con una población activamente involucrada y motivada en el proyecto, se produce un proceso de adopción de la tecnología más profundo, minimizando así el riesgo de deterioro e incluso abandono del sistema.

3.2 Objetivo 2. Entender cómo se deben desarrollar proyectos de energías renovables para el acceso a la energía en zonas rurales empobrecidas de acuerdo con el paradigma de DHS

A continuación se presenta la discusión de los resultados relacionados con el segundo objetivo de la investigación, el cual pretende fortalecer los procesos de los proyectos de EERR para el acceso a la energía en zonas rurales empobrecidas. Para ello, se proponen recomendaciones a tener en cuenta en futuros proyectos de este tipo para maximizar las probabilidades de éxito en términos de DHS.

3.2.1 ¿Qué aspectos clave deben ser tenidos en cuenta durante el proceso de diseño de los proyectos con EERR en zonas rurales empobrecidas, de acuerdo con el enfoque de DHS?

La primera sugerencia es incluir otro tipo de información en la planificación de proyectos. Actualmente, el análisis del contexto socioeconómico se realiza principalmente en base a información de tipo cuantitativo. Esto ha demostrado no ser suficiente, siendo recomendable, además, reunir información acerca de los valores, costumbres, roles de género y liderazgo en la comunidad, entre otros.

Además, como se ha visto, resulta fundamental aumentar la participación de la comunidad en todas las etapas del ciclo del proyecto, y la etapa de diseño no es una excepción. Generalmente, la toma de decisiones sobre el diseño de los sistemas recae únicamente en la institución responsable del proyecto, escogiendo, por ejemplo, entre sistemas individuales o microrredes en base a su propio criterio. Sin embargo, deberían organizarse actividades de formación para proporcionar a los miembros de la comunidad el conocimiento necesario para participar en el diseño de los sistemas. En concreto, se necesitará un programa de formación específica, no sólo en función de las diferentes tecnologías, sino también en la configuración de la distribución de energía eléctrica (sistemas individuales o microrredes), para garantizar que todos los usuarios sean conscientes de sus responsabilidades en cuanto a la gestión de la energía. En el caso de los sistemas individuales, la formación debe centrarse en la importancia de una adecuada gestión de una cantidad limitada de energía, mientras que en el caso de las microrredes debería centrarse en la relevancia de la distribución de energía entre los usuarios. De esta manera, estaremos seguros de incorporar al proceso de decisión los criterios sociales discutidos en la Sección 3.1.1, cuya evaluación debe recaer en la propia población local para evitar posibles sesgos por parte del equipo responsable del proyecto. Por ejemplo, se encontró que los usuarios en Campo Alegre no están satisfechos con sus sistemas debido a que con corriente continua no se pueden utilizar muchas la mayoría de electrodomésticos y artefactos comerciales.

Por tanto, toda la comunidad deberá participar en el diseño y los procesos de toma de decisiones deben realizarse de forma participativa y democrática para garantizar la solución adoptada realmente responde al contexto, las necesidades y expectativas locales. Es importante destacar que todos los grupos de la comunidad deben estar representados con el fin de responder a todas sus necesidades, estableciendo espacios especiales principalmente para colectivos como las mujeres o los niños, que tienden a ser invisibilizados.

En el caso del diseño del modelo de gestión, PA tiende a utilizar su modelo de gestión de forma estandarizada en cada comunidad. Si bien esto puede simplificar la tarea y facilitar el diseño de nuevos proyectos en distintas comunidades en contextos similares, esta práctica limita la capacidad de hacer frente a la diversidad que se encuentra en cada comunidad. Esto es especialmente importante para los grupos más vulnerables, cuyas necesidades específicas pueden verse invisibilizadas si no se dota de cierta flexibilidad al modelo de gestión implementado. Esta

problemática es evidente, por ejemplo, en la comunidad de Alto Perú, donde una familia de edad avanzada con tres niños con discapacidad mental no fue capaz de cumplir con las obligaciones requeridas para tener electricidad, quedándose fuera del proyecto.

En este sentido, al igual que ocurre con el diseño de los sistemas, se debe promover la participación de la comunidad en la adaptación del modelo de gestión a cada comunidad. De esta forma, no solo se considerarán los valores y costumbres locales, entre otros, si no que se deja la puerta abierta a innovaciones significativas por parte de los futuros usuarios, lo cual puede erigirse en un proceso de mejora continua del modelo a medida que se implementa en distintas comunidades. Por ejemplo, los usuarios de Campo Alegre utilizan el fondo de reserva de la tarifa eléctrica como fondo rotatorio para promover el acceso al crédito para la generación de pequeñas empresas y aumentar la productividad. Si bien el caso de Campo Alegre es el único donde se han identificado innovaciones de este tipo, si se promueve la innovación a través de procesos de formación y talleres participativos al inicio del proyecto, nuevas aportaciones pueden ser recogidas en cada comunidad.

En conclusión, para los proyectos de futuro, nuevos factores deben ser tomados en cuenta en los procesos de diseño de los proyectos, debiéndose usar estrategias especiales de capacitación y sensibilización para sobreponerse a los obstáculos actuales. Si bien esto puede implicar un mayor esfuerzo por parte del equipo técnico encargado del proyecto y, en consecuencia, un coste del proyecto más alto, el aumento en la probabilidad de éxito de los proyectos compensa sobradamente este encarecimiento.

3.2.2 ¿Qué aspectos deben tomarse en consideración en el proceso de implementación de este tipo de proyectos para promover el DHS?

A lo largo de la investigación se han ido definiendo recomendaciones a partir de los puntos débiles identificados en este tipo de proyectos. Estas recomendaciones han sido discutidas y consensuadas con la población, el equipo técnico de PA, así como con el personal de otras ONGs con experiencia en proyectos tecnológicos. La intención es ofrecer recomendaciones realistas, pertinentes al contexto en Cajamarca y factibles para las organizaciones responsables de la implementación de los proyectos, sacrificando opciones más radicales, relacionadas por ejemplo con la equidad de género, pero muy difíciles de implementar teniendo en cuenta las limitaciones presupuestales y el relativamente corto plazo en que este tipo de proyectos se llevan a cabo.

Se han identificado bajos niveles de asistencia a las reuniones y asambleas comunitarias debido a incompatibilidades de horarios con las obligaciones laborales de la mayoría de los miembros de la comunidad, ya que hasta el momento las reuniones se realizan en los horarios definidos por la organización responsable del proyecto. Para resolver este problema, se recomienda que sea la comunidad misma quien defina los horarios de las reuniones, y que el equipo del proyecto se adapte a la población.

La inclusión de actividades específicas para hacer frente a las desigualdades de género resulta fundamental en este tipo de proyectos. Para ello es necesario un presupuesto asignado para

asegurar la disponibilidad de recursos específicos durante el proyecto. También sería bueno tener indicadores específicos de género para evaluar el éxito de los proyectos en este sentido. En particular, sería muy útil promover los siguientes puntos:

- Llevar a cabo un análisis de género, lo cual es esencial para la definición de estrategias adecuadas. Para ello se pueden utilizar diversos métodos, como, por ejemplo, separar los datos por sexo, realizar *focus groups* por separado con hombres y mujeres, garantizar que el 50 % de las personas entrevistadas en esta fase son mujeres, realizar un análisis de funciones y usos del tiempo, así como analizar los intereses estratégicos y las necesidades prácticas de los hombres y las mujeres.
- Nombrar a una coordinadora para planificar las reuniones y, al hacerlo, tomar en consideración la disponibilidad de las mujeres. Esta posición de responsabilidad también aumentaría su agencia.
- Incluir a las mujeres en los puestos de responsabilidad. Una opción podría ser el establecimiento de una cuota de participación de las mujeres en la microempresa y el comité de control, que las hará visibles y garantizará su representación. Otra opción, que podría transformar las estructuras de poder, sería imponer que el operador o el administrador sea una mujer. Esto ayudaría a la comunidad se da cuenta de que las mujeres pueden realizar tanto en puestos técnicos y administrativos, mejorando así la acción de las mujeres. El mismo método se podría aplicar a la construcción de infraestructura o la instalación de sistemas de energía, donde las mujeres también podían hacerse visibles y realizar las mismas tareas que los hombres.
- Organizar reuniones o talleres separados para hombres y mujeres para asegurar la participación de las mujeres, ya que se ha demostrado que el desequilibrio de energía restringe a las mujeres de expresar públicamente sus opiniones personales, políticas o ideológicas.
- Ofrecer una formación específica para las mujeres y sus organizaciones. Esto reforzaría su autoestima y su capacidad para discutir temas en público, dándoles la confianza para participar activamente en las reuniones.

Para mejorar la sostenibilidad de los proyectos se recomienda priorizar los proyectos en los que la iniciativa recae en la comunidad, asegurando que la electrificación es una necesidad sentida por la población. Si la propuesta del proyecto proviene de una institución ajena a la comunidad, será necesario hacer hincapié en la sensibilización de la población acerca de la responsabilidad para con el proyecto, así como en la motivación a los futuros usuarios a participar activamente en todo el proceso. Con una población activamente involucrada y motivada con el proyecto, los usuarios adoptan la tecnología más profundamente, lo cual minimiza el riesgo de abandono o deterioro del sistema.

Para promover el empoderamiento de las personas, es necesario crear espacios inclusivos para la toma de decisiones que garanticen un alto grado de participación de la comunidad en todas las fases del proyecto. Por lo tanto, para mejorar el impacto en términos de empoderamiento en futuros proyectos de desarrollo, se recomienda que la institución responsable facilite un proceso

liderado por la propia población, y diseñe estrategias específicas a fin de producir un cambio más profundo en la vida de las personas e influir en ellas políticamente para que sean capaces de luchar por sus derechos. Para llevar a cabo esta tarea, las autoridades locales podrían ser capacitadas en gestión comunitaria, derechos humanos, protección del medio ambiente, gestión de proyectos, etc. La generación y el fortalecimiento de estas capacidades pueden alentar cambios en las estructuras de poder en favor de los más vulnerables.

Finalmente, dado que el acceso a la electricidad no promueve la productividad por sí mismo, se requieren estrategias específicas para fomentar la creación de nuevas empresas. Para ello, se deben desarrollar planes de formación sobre producción, gestión empresarial y acceso a mercados, así como definir herramientas para mejorar el acceso al crédito y la creación de empresas asociativas o cooperativas. En particular, dado que mediante el establecimiento de procesos de participación de calidad las organizaciones comunitarias se fortalecen, esto les permite desarrollar nuevos proyectos productivos de forma asociativa, superando así las muchas barreras que se deben superar para generar empresas rurales individualmente.

3.2.3 ¿Qué características debe tener un modelo de gestión comunitario sostenible que permita la integración de cualquier tipo de tecnología energética, tanto para servicios energéticos como de saneamiento?

Como se ha comentado anteriormente, uno de los productos de la investigación ha sido el desarrollo de un modelo de gestión basado en el DHS, capaz de gestionar cualquier número de tecnologías distintas. A continuación se presentan las características de este modelo, el cual ha demostrado dotar de elevados niveles de sostenibilidad a proyectos de energías renovables en el ámbito rural andino.

Este modelo de gestión fue concebido de manera que cualquier nueva tecnología instalada en la comunidad en el futuro pueda ser incluida en el mismo. Así, tiene la ventaja de poder ser muy fácilmente difundido entre las comunidades rurales e incluso podría promover la incorporación de nuevos sistemas a los ya existentes. La Figura 1 de la Sección 2.5 muestra un esquema general del nuevo modelo de gestión integral.

El modelo de gestión se ha diseñado teniendo en cuenta las relaciones sociales internas dentro de la comunidad, sus formas de organización, los valores y las capacidades individuales y grupales, las cuales fueron especialmente reforzadas para asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas. La Unidad de Servicios Eléctricos Rurales (USER), institución principal en el modelo de gestión microempresarial en proyectos de electrificación rural, y la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS), institución legalmente responsable de la gestión de servicios de saneamiento en zonas rurales en Perú, se redefinen para poder trabajar de forma integrada.

A continuación se describen los roles y responsabilidades de los actores más relevantes del modelo de gestión integral propuesto:

- **JASS:** Es responsable de las tareas de operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento; la elaboración del plan anual de trabajo y el presupuesto, el cálculo y cobro de la tarifa mensual, que ofrece un fondo de reserva para pagar por la operación y el mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas; la imposición de sanciones a los usuarios; la promoción de hábitos saludables en los hogares; la organización de la comunidad campañas de limpieza y otras funciones menores.
- **USER:** Si bien este nombre se refiere normalmente a "Servicios Eléctricos", en Pucara se refiere a "Servicios de Energía", en sentido más amplio. La USER es una microempresa formada por pobladores locales, que son responsables de la operación y mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas; el cobro de las tarifas mensuales, que proporcionan un fondo de reserva para cubrir costes; servicio de corte y / o sustitución; promoción de la extensión de los servicios a los nuevos usuarios y otras funciones menores. Cabe señalar que se han definido nuevos procedimientos de organización para permitir que la USER y la JASS compartan representantes. Estos actores deben estar profundamente involucrados y coordinados para realizar sus actividades de la manera más eficiente posible. De hecho, si no hubiera restricciones legales en Perú, una sola institución podría encargarse de todas estas tareas.
- **Usuarios:** Cada usuario es responsable de usar y mantener sus sistemas de forma adecuada, así como de pagar las tarifas específicas definidas para cada tecnología, que pueden ser tarifas planas, variables en función del consumo, o variables en función de la magnitud de las reparaciones. Por otra parte, los usuarios forman una Asamblea General, que es la máxima autoridad en el modelo de gestión, y es responsable de la elección del personal de la JASS y la USER; la aprobación de los planes y presupuestos; y el seguimiento y evaluación de las actividades de la JASS y la USER. La Asamblea General se reúne mensualmente y la asistencia de los usuarios es obligatoria. En caso de que algún usuario no asista, sin justificación importante, se impone una penalización económica.
- **Comité de Control:** Es elegido por la Asamblea General y está formado por pobladores locales, principalmente autoridades. Tiene la responsabilidad de supervisar la administración de la USER y la JASS (gestión financiera, usuarios morosos, calidad de servicio, etc.) y garantizar el cumplimiento de las obligaciones de los usuarios, así como atender quejas, sugerencias o conflictos. Debe operar de manera imparcial y sus tareas de control deben ser completamente ajenas a cualquier asunto político.
- **Municipalidad Distrital:** El propietario legal de los sistemas es la Municipalidad Distrital, que firma un contrato de concesión de la asignación de la gestión de los servicios a la JASS y la USER. Por lo tanto, no puede interferir con las operaciones del día a día. Sin embargo, como propietaria legal comparte la responsabilidad de sustituir los equipos cuando sea necesario, por lo que debe contribuir al fondo de reserva si este es insuficiente para cubrir los costes.

Teniendo en cuenta la rigidez de la JASS para incluir nuevas tecnologías debido a su normativa estricta regulada por el estado peruano, se emplearon dos criterios para decidir qué tecnologías debían ser operadas y mantenidas por la JASS o por la USER:

- a) Simplicidad en el control y monitoreo para la USER o la JASS, de acuerdo a los requerimientos de mantenimiento de cada tecnología.
- b) Posibilidad de que la JASS hacerlo, de acuerdo con la normativa, ya que sólo puede incluir servicios de saneamiento.

De acuerdo con los criterios antes mencionados, la responsabilidad de operación y mantenimiento sobre los sistemas solares térmicos y cocinas mejoradas fue asignada a la JASS, además de los sistemas de agua potable y letrinas que ya estaban administrados por esta organización en Pucara. En el primer caso, el agua caliente para el baño está claramente relacionada con los servicios de saneamiento, que se ajusta al objetivo de la JASS, y los miembros de esta organización ya tenían las habilidades necesarias para operar y mantener los sistemas de agua, lo que simplifica el programa de capacitación para los operadores. En el segundo caso, como una de las tareas de la JASS implica el seguimiento y la promoción de hábitos saludables dentro de los hogares en coordinación con el centro de salud más cercano, y en algunas otras comunidades de Cajamarca la JASS ya era responsable de esta tecnología, se decidió asignarle responsabilidades de operación y mantenimiento de las cocinas mejoradas. La responsabilidad de la gestión de la MCH, sistemas fotovoltaicos individuales, biodigestores y muros Trombe fue asignada a la USER. Si bien los dos primeros casos fueron asignados a la USER porque ésta fue creada originalmente para administrar y operar sistemas de electrificación rural, los muros Trombe y los biodigestores podrían haber sido asignados tanto a la USER como a la JASS. Sin embargo, están más relacionados con los servicios de energía que a los servicios de saneamiento. Así, de acuerdo con el equipo técnico de PA, se decidió asignar esta gestión de la tecnología a la USER. En proyectos futuros en que se quiera incluir nuevas tecnologías a este modelo, se pueden seguir lógicas similares para asignar la gestión de la tecnología a USER o a la JASS.

4. Conclusiones

La energía es crucial para erradicar la pobreza, mejorar el bienestar y aumentar los estándares de vida de las personas. En este sentido, dotar a la población de modernos servicios básicos energéticos, adecuados y fiables, utilizando tecnologías seguras y ecológicamente racionales, de conformidad con las necesidades socioeconómicas y los valores culturales, es esencial en la carrera por el desarrollo.

Entre los servicios energéticos que deben proporcionarse en las comunidades rurales, los más relevantes son la electricidad, la calefacción, la cocina y el agua caliente. Para superar este problema, los sistemas autónomos basados en el uso de las energías renovables han demostrado ser adecuados para proporcionar servicios de energía y saneamiento de alta calidad, asequibles, fiables y seguros, en comunidades rurales aisladas.

Habitualmente, este tipo de proyectos tecnológicos se han diseñado, implementado y evaluado siguiendo estrategias acordes con enfoques de cariz utilitarista, centrados en la generación de nuevos recursos. Sin embargo, este tipo de enfoques solo alcanzan la superficie de los procesos que se llevan a cabo en proyectos de desarrollo. Por esta razón, en esta tesis se promueve el uso de un enfoque diferente, que nos permita ampliar el análisis sobre varias dimensiones clave del desarrollo que deben ser consideradas en el proceso de estos proyectos. En particular, se ha utilizado el enfoque de DHS, según el cual los proyectos tecnológicos en las zonas rurales no sólo deben estar dirigidos a aumentar los niveles de acceso a una energía asequible, fiable, segura y de alta calidad, y a mejorar la calidad del medio ambiente, incluido el entorno inmediato en los hogares, sino también a fortalecer la autonomía y el empoderamiento de las personas, ampliando sus oportunidades y libertades.

Para realizar el análisis de los proyectos en base a los preceptos del DHS se ha diseñado una metodología *ad hoc*, incorporando herramientas para obtener datos relativos al contexto y a los factores de conversión individual que afectan a las capacidades de las personas. Asimismo, se centró en averiguar la relación de los proyectos de electrificación con la expansión de capacidades, con especial énfasis en garantizar la participación de la población. Cabe destacar que la metodología empleada tiene una fuerte componente de género, realizando talleres con hombres y mujeres por separado, analizando los usos del tiempo para comprobar las diferencias en la carga diaria de trabajo entre hombres y mujeres, y desarrollando focus groups para conocer el acceso de las mujeres a cargos de responsabilidad en la comunidad, así como su participación y acceso al proyecto de electrificación. Gracias a este enfoque y a esta metodología se ha podido ampliar en gran medida la base de información con la que analizar tanto los beneficios como los cambios no deseados que se han producido una vez concluido el proyecto en cuestión.

En cuanto a los resultados de la investigación, se ha demostrado que existe realmente una ampliación del set de capacidades producto de los proyectos de electrificación. Sin embargo, ésta ha resultado ser desigual entre hombres y mujeres. Este hecho puede ser explicado en base a tradiciones de tipo social y cultural, que impiden a la mujer participar en espacios públicos, tomar

decisiones o desempeñar un rol productivo al mismo nivel que los hombres. En términos de agencia, se ha comprobado la importancia de las capacitaciones para reforzar el “poder propio” de la población. En cuanto a la participación de la población en los espacios de decisión se ha constatado la apropiación de los mismos, en ocasiones, por una minoría de hombres con elevado liderazgo en la comunidad. Producto de esto puede ocurrir que aparezcan importantes sesgos en la información que maneja el equipo técnico entorno a la comunidad, así como inequidades sociales producto de desequilibrios de poder en los procesos de toma de decisión colectiva. Finalmente, cabe destacar que la investigación ha demostrado la importancia de hacer hincapié en los procesos de toma de decisiones multicriterio para proyectos futuros, incluyendo factores técnicos y socioeconómicos, con el fin de diseñar sistemas de electrificación que consideren un mayor número de criterios de diseño y los puntos de vista de todos los actores involucrados en el proyecto, especialmente la población local.

En términos tecnológicos, no podemos afirmar a partir de esta investigación que cualquiera de las tecnologías es más recomendable que otras en zonas rurales andinas. Mientras que las MCH son las preferidas comúnmente, hemos visto que la energía fotovoltaica y eólica también pueden ser eficaces en las comunidades rurales, en función de la disponibilidad de recursos. De hecho, en relación con los resultados de este análisis, se puede afirmar que todas las tecnologías analizadas en este trabajo podría tener un gran impacto en términos de DHS, pero el éxito depende en gran medida del proceso de implementación del modelo de gestión.

En base a los resultados de los análisis realizados, se han presentado una serie de recomendaciones con las que se puede superar las barreras y dificultades identificadas para que este tipo de proyectos sean verdaderamente catalizadores del desarrollo, según el DHS.

En primer lugar, para mejorar el impacto en la equidad y la diversidad, deben emplearse herramientas cualitativas en la fase de identificación para proporcionar información con respecto a los valores culturales y costumbres, así como de las barreras especiales que deben ser superadas por los sectores más vulnerables de la población, especialmente las mujeres, para poder participar activamente en el proyecto. Además, toda la población debe participar en el proceso de diseño del modelo de gestión, garantizando así que el proyecto considera las necesidades específicas de todas las familias, incluyendo a los más vulnerables.

En segundo lugar, para mejorar la sostenibilidad de los proyectos se recomienda priorizar los proyectos en que la iniciativa nace de la comunidad. Con una población involucrada y motivada se alcanzan niveles más altos de apropiación de la tecnología, y el riesgo de deterioro de los sistemas se reduce. En particular, es necesario diseñar estrategias especiales para garantizar la participación de los "mitayos" en la gestión de los sistemas. Por supuesto, se debe asegurar un diseño técnico robusto y un correcto funcionamiento de los equipos a través de estrategias de operación y mantenimiento eficientes, ya que los cortes de electricidad no solo suponen problemas técnicos y económicos, sino que también generan conflictos entre vecinos que pueden dar al traste con el modelo de gestión del sistema y, por ende, con el proyecto.

En tercer lugar, en relación con el empoderamiento, los planes y cursos de formación deben tener en cuenta las necesidades y limitaciones específicas de cada sector de la sociedad, ya que el fortalecimiento de capacidades es una herramienta clave para la promoción de cambios en las estructuras de poder. Por otra parte, para promover el empoderamiento el modelo de gestión debe considerar espacios inclusivos para la toma de decisiones, lo cual garantiza un alto grado de participación.

En cuarto lugar, para fomentar la productividad es necesario el desarrollo de planes de formación sobre la producción, la gestión empresarial y el acceso a los mercados, así como poner en práctica herramientas para mejorar el acceso al crédito y fortalecer las organizaciones comunitarias para crear empresas asociativas o cooperativas.

Finalmente, y como elemento transversal, es necesario incorporar nuevas herramientas que permitan visibilizar las desigualdades de género y transformar las estructuras de poder, de manera que se pueda alcanzar un mayor equilibrio en las relaciones entre hombres y mujeres. En este sentido, durante la fase de identificación de los proyectos se recomienda reunir información suficiente referente a los roles de género y estructuras de poder. Solo así se podrán definir estrategias específicas para maximizar el poder transformador de los proyectos. Además, sería conveniente nombrar a una coordinadora para planificar las reuniones con el equipo técnico del proyecto y, al hacerlo, tomar en consideración la disponibilidad de las mujeres adecuadas. Así, se maximizaría la capacidad de las mujeres para asistir a los espacios de toma de decisiones. Por otra parte, el hecho de ocupar un puesto de responsabilidad puede aumentar los niveles de agencia en las mujeres. Para promover que esto ocurra, podrían establecerse cuotas de participación de mujeres tanto en la microempresa como en la unidad de control, así como elegir a una mujer en el puesto de operadora o administradora, de forma que la comunidad pueda sensibilizarse en cuanto a la capacidad de las mujeres de realizar tanto tareas técnicas como financieras. El mismo método se podría aplicar a la construcción de infraestructura o la instalación de sistemas de energía, donde las mujeres también podrían hacerse visibles y realizar las mismas tareas que los hombres. Adicionalmente, se ha probado que organizar reuniones o talleres separados para hombres y mujeres fortalece significativamente la participación de las mujeres, ya que el desequilibrio de poder restringe a las mujeres de expresar públicamente sus opiniones personales, políticas o ideológicas. Finalmente, se recomienda ofrecer una formación específica para las mujeres y sus organizaciones, centrada en reforzar su autoestima y su capacidad para discutir temas en público, dándoles la confianza para participar activamente en las reuniones. Cabe mencionar que para asegurar la disponibilidad de recursos de género durante el proyecto es fundamental asignar una parte del presupuesto del proyecto a este propósito desde el inicio.

Aunque la mayoría de las recomendaciones propuestas pueden incrementar ligeramente el coste de este tipo de proyectos en las zonas rurales, su consideración dentro de los procesos de los proyectos incrementará fuertemente el impacto de los mismos en la vida de las personas. Por esa razón, estos pequeños costes adicionales se consideran mínimos en comparación con las enormes mejoras que pueden lograrse, así que incluir estas recomendaciones en los planes y estrategias de futuro es muy recomendable.

Como parte final, se ha desarrollado un modelo de gestión comunitario integral y se ha evaluado la sostenibilidad de un proyecto con EERR en Pucara que lo incluye. Este modelo de gestión innovador ha sido creado para proporcionar servicios de energía y saneamiento básico con seis tecnologías diferentes: una MCH, sistemas SFV, biodigestores, cocinas mejoradas, muros Trombe y sistemas solares térmicos. El modelo de gestión se basa en la combinación de la Unidad de Servicios de Energía Rural y Junta de Administración de Servicios de Saneamiento, que coexisten y comparten actores, y son responsables de la operación técnica y el mantenimiento de los sistemas. Este modelo se centra en el fomento de la gestión autónoma de todas las tecnologías y se concibe de manera que cualquier nueva tecnología instalada en la comunidad pueda ser incluida en el mismo. Por lo tanto, tiene la ventaja de que puede ser muy fácilmente difundido entre las comunidades rurales e incluso podría promover la incorporación de nuevos sistemas a los ya existentes en el futuro. Dado que este modelo da a la comunidad la oportunidad de gestionar todos los sistemas a la vez, incluso combinando servicios de energía, agua y saneamiento, esto representa un cambio significativo en comparación con los modelos existentes.

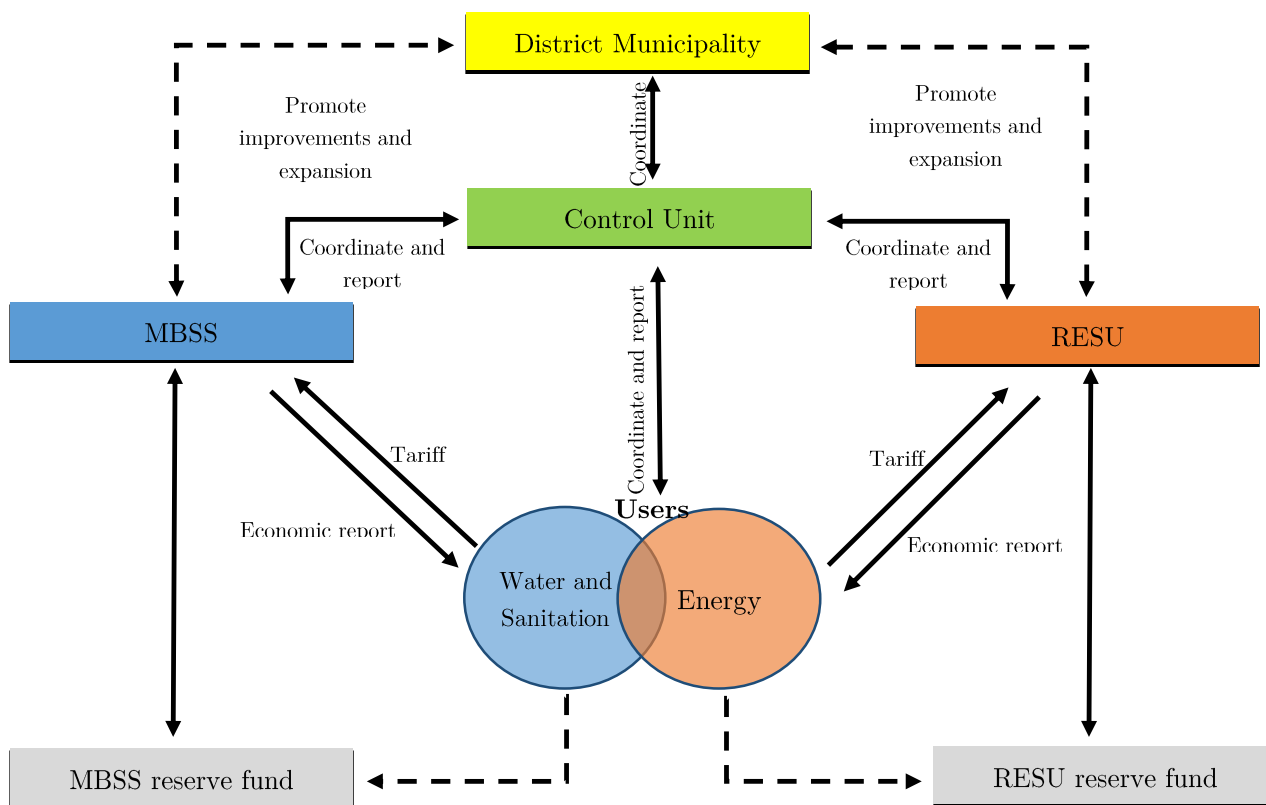


Ilustración 4. Esquema general del modelo de gestión implementado en Pucará

Por otra parte, se propuso una nueva metodología para evaluar cinco dimensiones del desarrollo sostenible: técnica, económica, social/ética, ambiental e institucional/organizacional, la cual se aplicó para analizar el proyecto de Pucara. La dimensión técnica es una de las dimensiones mejor

valorada para todas las tecnologías, ya que se definieron servicios de operación y mantenimiento apropiados, los sistemas están generalmente en buenas condiciones y las interrupciones en el servicio son muy infrecuentes. La dimensión económica ha mostrado resultados elevados pero dispares, y en la que los biodigestores son los más valorados ya que promueven actividades generadoras de ingresos y reducen los gastos en recursos energéticos. La dimensión social/ética es la dimensión peor valorada para casi todas las tecnologías, debido principalmente a que no todas las familias tienen acceso a todas las tecnologías, debido a las características de algunas de ellas y las limitaciones presupuestarias. La dimensión ambiental, si bien está bien valorada en todos los casos, los resultados no son tan altos como cabría esperar para las EERR porque se han utilizado indicadores ambientales muy ambiciosos. La dimensión organizacional/institucional ha obtenido las calificaciones más altas de todas las tecnologías, lo que confirma que el modelo de gestión ha demostrado ser adecuado para este tipo de proyectos en las zonas rurales.

Dado que esta tesis está basada en el análisis de estudios de caso y en el establecimiento de hipótesis y teorías a partir de un proceso de razonamiento inductivo, para complementarlas y, finalmente, confirmarlas, en el futuro será necesario realizar nuevas investigaciones en la misma línea a partir del estudio, la observación y recolección de datos en nuevos proyectos tecnológicos en el ámbito rural. En este sentido, se recomienda extender la investigación en proyectos con tecnologías similares en otros contextos socioeconómicos, así como en proyectos con tecnologías diferentes.

En primer lugar, las afirmaciones que en esta tesis se llevan a cabo están relacionadas con el contexto rural andino del norte del Perú. Sin embargo, es probable que en ámbitos culturales distintos los procesos de los proyectos tecnológicos tengan connotaciones significativamente diferentes. Si ese fuera el caso, la investigación en proyectos tecnológicos mediante el DHS en dichos contextos proporcionaría información muy valiosa tanto para complementar las afirmaciones que en esta tesis se han realizado en cuanto a los aportes del DHS para el análisis de este tipo de proyectos. Además, contribuiría a generar una mayor base de información para fortalecer los procesos de los proyectos, pudiendo elaborar una base de recomendaciones flexibles y adaptativas, así como generando un proceso de lecciones aprendidas que pueda beneficiar el impacto de los proyectos tecnológicos sobre la vida de la población rural en todo el mundo.

Finalmente, el análisis de proyectos con tecnologías diferentes a las aquí analizadas, incluso aquellas no relacionadas con el ámbito energético puramente, resulta fundamental para ampliar el ámbito de uso del DHS. Solo de esta forma se podrán extraer conclusiones generales y realizar una evaluación completa del impacto de los proyectos tecnológicos como motor del desarrollo en el sector rural, lo cual resulta clave en la definición de políticas que efectivamente puedan producir una transformación en la vida de las personas, aumentando significativamente sus niveles de bienestar.

