

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**



**GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS Y
SERVICIOS DE TELECOMUNICACIÓN**

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UN
MÓDULO PARA EL CONTROL DE STOCK
Y AVERÍAS EN UN SISTEMA DE GESTIÓN
DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN PAÍSES
EN DESARROLLO**

Ana Isabel Sánchez García

2024

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Título: Diseño e implantación de un módulo para el control de stock y averías en un sistema de gestión de electrificación rural en países en desarrollo

Autor: Dña. Ana Isabel Sánchez García

Tutor: Dña. Laura del Río Carazo

Ponente: D. Santiago Iglesias Pradas

Departamento: Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Presidente: D.

Vocal: D.

Secretario: D.

Suplente: D.

Los miembros del tribunal arriba nombrados acuerdan otorgar la calificación de:

Madrid, a de de 20...

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**



**GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS Y
SERVICIOS DE TELECOMUNICACIÓN**

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UN MÓDULO
PARA EL CONTROL DE STOCK Y AVERÍAS
EN UN SISTEMA DE GESTIÓN DE
ELECTRIFICACIÓN RURAL EN PAÍSES EN
DESARROLLO**

Ana Isabel Sánchez García

2024

RESUMEN

En un mundo globalizado, donde la mayoría de los países industrializados tienen acceso a todo tipo de avances tecnológicos, asegurar el acceso a la electricidad a las zonas remotas y aisladas del planeta debe ser el objetivo principal de los proveedores de servicios básicos universales. La creciente atención hacia el desarrollo de fuentes de energía renovable refleja un esfuerzo generalizado, tanto científico como institucional, por lograr una transición hacia un modelo energético más sostenible.

Entre las alternativas renovables, la energía solar destaca como una opción altamente viable para áreas rurales en países en desarrollo, por su capacidad para adaptarse a entornos remotos con pequeñas infraestructuras, fácil instalación y uso sencillo. No obstante, la implantación efectiva de soluciones solares mediante dispositivos autónomos se ve obstaculizada por diversos factores, como la limitada capacidad tecnológica de estas regiones, los sistemas de pago deficientes y una gestión de datos inadecuada, lo que impide la escalabilidad de las intervenciones.

En respuesta a estas dificultades, este Trabajo Fin de Grado propone el diseño e implantación de un módulo de gestión de inventario y averías dentro de un sistema de información especializado para modelos de negocio de energía como servicio (EaaS) en zonas rurales remotas de países en desarrollo. El módulo integrará funcionalidades para el control de stock, la asignación eficiente de equipos y la gestión de averías, facilitando así la operación y mantenimiento de sistemas de energía en estas áreas.

En primer lugar, se revisará la literatura sobre la electrificación rural en países en desarrollo, la gestión de dichos proyectos y los retos y tendencias actuales. En segundo lugar, se evaluarán las características generales de los sistemas de información, específicamente de los módulos O&M, y se analizará el contexto de aplicación. Por último, se diseñará e implantará el módulo en el sistema de información de un proveedor de servicios eléctricos.

PALABRAS CLAVE

Electrificación rural, Sistema de Información, Modelo de gestión adaptado, Operaciones y Mantenimiento.

SUMMARY

In a globalized world, where most developed countries have access to all kinds of technological advances, ensuring access to electricity to remote and isolated areas of the planet must be the main objective of universal basic service providers. The growing awareness of the development of renewable energy sources reflects a widespread effort, both scientific and institutional, to achieve a transition to a more sustainable energy model.

Among the renewable alternatives, solar energy stands out as a highly viable option for rural areas in developing countries, due to its ability to adapt to remote environments with small infrastructures, easy installation and simple use. However, the effective implementation of solar solutions through stand-alone devices is hindered by several factors, such as the limited technological capabilities of these regions, poor payment systems and inadequate data management, which prevents the scalability of the interventions.

As a response to these challenges, this Final Degree Project proposes the design and implementation of an inventory and fault management module within a specialized information system for Energy-as-a-Service (EaaS) business models for remote rural areas of the developing world. The module will integrate functionality for inventory control, efficient equipment allocation and fault management to facilitate the operation and maintenance of energy systems in these areas.

First, there will be a review of the literature on rural electrification in developing countries, the management of such projects, and current challenges and trends. Secondly, the general characteristics of Information Systems, in particular O&M modules, will be evaluated and the context in which the module will be used analysed. Finally, the module will be designed and implemented in the information system of an electricity service provider.

KEYWORDS

Rural Electrification, Information System, Adapted management model, Operations and Maintenance.

AGRADECIMIENTOS

Gracias.

*A mis abuelos, José Luis y Mercedes;
crecer en vuestra casa ha sido un regalo.*

A mis padres, por convertirme en la persona que soy; por la paciencia, el cariño y la confianza. Gracias a mi hermana, Marina; por enseñarme la vida desde tus ojos. Siempre serás un ejemplo a seguir.

A la mesa de los becarios del TIGE, ojalá haberos conocido antes. A Ignacio y a Jorge, por dejarme aprender a vuestro lado; y a Aída, por ser cómplice y amiga.

A la Receta, por ser mi motor y refugio en la ETSIT. A Carmen, a Isa y a Manu, sois la definición del apoyo sincero e incondicional.

*Y a Sergio, por caminar a mi lado e impulsarme a diario.
Qué ganas de seguir cumpliendo metas juntos.*

ÍNDICE DEL CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Estructura	2
2. ESTADO DEL ARTE	3
2.1. Combustibles fósiles.....	3
2.2. Brecha económica, de género y tecnológica.	4
2.3. Objetivos de Desarrollo Sostenible	5
2.3.1. ODS7.....	7
2.3.2. Transición energética.....	8
2.4. Electrificación rural	8
2.4.1. Generación descentralizada de electricidad.....	9
2.4.1.1. Microrredes	10
2.4.1.2. Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios (SFD).....	10
2.4.2. Modelo de gestión en proyectos de electrificación rural.....	11
2.5. Sistemas de Información para la gestión de servicios energéticos	13
2.5.1. Sistemas de información comerciales	13
2.5.1.1. Módulos CRM-ERP	13
2.5.2. Tecnología adaptada.....	14
2.6. El problema de la gestión de activos en países en desarrollo	16
2.6.1. Operaciones y Mantenimiento (O&M) en el sector energético fotovoltaico ...	16
3. CONTEXTO	18
3.1. Acciona.org.....	18
3.2. Proyectos de Microenergía	18
3.3. Modelo de negocio sostenible	19
3.4. Digitalización del servicio	21
3.4.1. Proteo Gestor.....	21
3.4.2. Módulos y funcionalidades de la herramienta	22
3.4.3. Impacto socioeconómico de Proteo	25
4. DESARROLLO	26
4.1. Metodología	26
4.2. Objetivos específicos.....	27

4.3.	Cronograma.....	28
4.4.	Diseño y desarrollo.....	29
4.4.1.	Consideraciones iniciales	29
4.4.2.	Stock.....	29
4.4.3.	Adquisiciones	34
4.4.4.	Averías.....	37
4.5.	Pruebas de aceptación de usuario (UAT)	41
4.5.1.	Pruebas del módulo Stock	42
4.5.2.	Pruebas del módulo Adquisición	42
4.5.3.	Pruebas del módulo Averías	43
4.6.	Propuesta de nuevos indicadores para el cuadro de mando BI en Proteo	44
5.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	46
5.1.	Conclusiones.....	46
5.2.	Líneas futuras	47
6.	BIBLIOGRAFÍA	48
7.	ANEXO A: DIAGRAMAS BPMN	52
	Anexo A.1. 1º- BPMN Componente	52
	Anexo A.2. 2º- BPMN Componente	52
	Anexo A.3. 1º BPMN Avería	53
8.	ANEXO B: CASOS DE USO	54
	Anexo B.1. Módulo Stock	54
	Anexo B.1.1 - Crear objeto	54
	Anexo B.1.2 - Importar	54
	Anexo B.1.3 - Eliminar objeto	55
	Anexo B.1.4 - Descargar objetos	55
	Anexo B.2. Módulo Adquisiciones.....	56
	Anexo B.2.1 - Crear adquisición.....	56
	Anexo B.2.2 - Solicitar compensación	57
	Anexo B.2.3 - Descargar Adquisiciones	57
	Anexo B.3. Módulo Averías	58
	Anexo B.3.1 - Notificar avería desde vista individual de cliente	58
	Anexo B.3.2 - Descargar averías	58
9.	ANEXO C: ASPECTOS ÉTICOS, ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES	59
	C.1. Impacto social	59

C.2. Impacto económico.....	59
C.3 Impacto medioambiental.....	59
C.4 Responsabilidad ética y profesional.....	60
10. ANEXO D: PRESUPUESTO ECONÓMICO	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: “The World by Income and Region”. Fuente: The World Bank [12].	5
Figura 2.2: “SDG7 Interlinkages”. Fuente: Open Development Mekong [19].	8
Figura 2.3: “Access to electricity map”. Fuente: IEA [23]	9
Figura 2.4: “Poster of 3G-SHSs”. Fuente: Sustainability 2021 [32]	11
Figura 2.5: “Configurador de modelos de gestión en proyectos de electrificación rural”. Fuente: UPM [2]	12
Figura 2.6: “Cuadro de mando de Angaza”. Fuente: Angaza [41].	15
Figura 2.7: “Sistemas de Información para la electrificación rural”. Elaboración propia	15
Figura 3.1: “Diagrama de funcionamiento de un SFD”. Fuente: Zimpertec [50]	20
Figura 3.2: “Jerarquía de los miembros”. Elaboración propia.	21
Figura 3.3: “Cuadro de mando BI”. Fuente: Proteo	22
Figura 3.4: “Módulo Clientes”. Fuente: Proteo	23
Figura 3.5: “Módulo Ventas”. Fuente: Proteo.	23
Figura 3.6: “Módulo Inventario”. Fuente: Proteo	24
Figura 3.7: “Configuración -> Modelos”. Fuente: Proteo.	24
Figura 3.8: “Portal de Cliente”. Fuente: Proteo	25
Figura 4.1: “Cronograma”	28
Figura 4.2: “Diagrama UML de los objetos en Stock”	30
Figura 4.3: “Diagrama UML de Kit”	30
Figura 4.4: “Diagrama UML de Lugar”	31
Figura 4.5: “Segmento test_RX en la primera versión del BPMN Componente”. Elaboración propia.	31
Figura 4.6: “Segmento test_RX en el BPMN definitivo de Componente”. Elaboración propia	32
Figura 4.7: “Segmento de realimentación en el BPMN definitivo de Componente”. Elaboración propia	32
Figura 4.8: “Vista Stock -> Componentes”	33
Figura 4.9: “Sección ‘Historial’ de un componente”	33
Figura 4.10: “Editar kit”	34
Figura 4.11: “Diagrama UML de Adquisición”	35
Figura 4.12: “BPMN definitivo de Adquisición”	36
Figura 4.13: “Formulario orden de compra en Adquisición”	36
Figura 4.14: “Vista individual de Adquisición”	37
Figura 4.15: “Sección Incidencia en la primera versión de BPMN de Averías”. Elaboración propia	38
Figura 4.16: “Diagrama UML de Avería”. Elaboración propia	38
Figura 4.17: “BPMN definitivo de Avería”. Elaboración propia	39
Figura 4.18: “Notificar avería->Tipo de error”	40
Figura 4.19: “Vista Averías”	40
Figura 4.20: “Vista individual de avería”	41
Figura 4.21: “Cerrar avería-> Tipo de solución”	41
Figura 4.22: “Stock por lugar”. Elaboración propia	44
Figura 4.23: “Componentes averiados por CLC”. Elaboración propia	44
Figura 4.24: “Situación de averías por CLC”. Elaboración propia	45
Figura 4.25: “Proveedores de adquisición”. Elaboración propia	45

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN

Desde la Revolución Industrial en 1850, el PIB mundial ha aumentado más de un 7.000%; superando los 135 trillones de dólares en 2021 [1]. Actualmente, la energía es inherente al progreso socioeconómico de cualquier comunidad, pero la realidad es que más de 670 millones de personas no tienen acceso eléctrico, de los cuales 600 millones viven en zonas rurales de países en desarrollo.

El modelo de gestión presente en los proyectos de electrificación rural incluye tres dimensiones: gobernanza, tecnología y negocio, cuya correcta interacción repercute en el éxito de las implantaciones [2]. Desde el año 2000 se han introducido generadores energéticos autónomos, independientes de la red convencional, y se ha desarrollado el modelo de negocio Energy-as-a-Service (EaaS), que define la relación entre el proveedor del servicio y los clientes. Además, este modelo establece la operativa para la explotación del servicio, y se aprovecha de las nuevas tecnologías incorporadas en los equipos de última generación para facilitar la monitorización remota y el pago móvil (PAYG).

Los últimos estudios han demostrado que los costes de mantenimiento pueden reducirse más de un 30% con una gestión eficiente del inventario y un control preventivo de las averías. Los sistemas de información comerciales para la planificación de recursos disponen de módulos específicos para operaciones y mantenimiento (O&M), pero las tasas de suscripción no son sostenibles en países en desarrollo, donde el seguimiento de los equipos se agrava por una operativa exclusivamente manual.

Por lo tanto, el reto permanece en la adaptación de las tecnologías a las limitaciones del entorno rural. Comprender las actividades propias de las comunidades beneficiarias, diseñar procesos coherentes y desarrollar herramientas usables, favorecerá la rentabilidad de los proyectos de electrificación, contribuyendo a la inclusión económica y tecnológica de las personas que viven en zonas aisladas de países en desarrollo.

1.2. OBJETIVOS

El equipo universitario de la Cátedra de Acciona.org, en la ETSI de Telecomunicación, ha desarrollado un sistema de información CRM-ERP para automatizar la gestión de proyectos de electrificación rural en zonas remotas de países en desarrollo.

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado consiste en la ampliación de las funcionalidades operativas de dicho sistema, optimizando los recursos y administrando el creciente volumen de equipos y clientes. De esta forma, se conseguirá una herramienta cohesionada que facilite la gestión total de los proyectos, desde la adquisición de equipos hasta la explotación completa del servicio.

Para lograrlo, se han diseñado módulos ERP específicos para el control de inventario, la gestión de averías y el control de proveedores. Estos están completamente adaptados a los procesos de negocio y a la capacidad tecnológica de los usuarios finales, para asegurar la sostenibilidad a largo plazo. Finalmente, se han implementado en la herramienta, se han

propuesto pruebas de aceptación del usuario (UAT) y se han elaborado nuevos indicadores de desempeño (KPIs) para el cuadro de mando.

1.3. ESTRUCTURA

El proyecto se organiza en cinco capítulos, en los que se expondrá el punto de partida del este TFG, su desarrollo y finalmente, vías de continuación futuras:

- **Capítulo 2: Estado del Arte.** Una revisión literaria sobre los cambios socioeconómicos de la Industrialización, que condujeron a la definición de planes internacionales para la transición energética. Se analiza el impacto de la escasa electrificación rural en los países en desarrollo; y se revisan las tecnologías tanto de generación de energía, como de gestión empresarial, que deben ser adaptadas para su implementación en zonas aisladas con una infraestructura muy reducida.
- **Capítulo 3: Contexto.** Se define el marco en el que Acciona.org opera actualmente y el estado del que se parte en el sistema de información para la gestión del servicio eléctrico. Se expone la jerarquía de roles, los módulos ya implementados y las funcionalidades más relevantes.
- **Capítulo 4: Desarrollo.** Se muestra el trabajo realizado durante este Trabajo Fin de Grado, según la metodología que se ha seguido. Comienza con el diseño de los procesos para cada módulo, su adaptación al contexto y al sistema de información existente; y termina con las pruebas de usuario y una propuesta de indicadores de evaluación y seguimiento.
- **Capítulo 5: Conclusiones y líneas futuras.** Una revisión final sobre la consecución del objetivo, donde se sugieren posibles vías de continuación de este proyecto.

2. ESTADO DEL ARTE

“Energy development is an integral part of enhanced economic development.”

Toman M, Jemelkova B [3].

A finales del siglo XVIII, la humanidad experimentó un punto de inflexión y por primera vez se reunieron los requisitos sociales y tecnológicos necesarios para sustituir la agricultura por la industria como base económica de un país [4]. La migración masiva de la población desde las áreas rurales hacia los núcleos urbanos en busca de mejores oportunidades laborales propició un rápido crecimiento demográfico de las ciudades. La población urbanita aumentó en todo el mundo, pasando del 30% en 1950 a más del 50% para finales de siglo, según datos de Naciones Unidas. Este incremento no solo estuvo impulsado por la promesa de un empleo, sino también por mejoras en la atención médica y en las condiciones de bienestar, reflejadas en un aumento notable de la esperanza de vida y en el desarrollo de actividades de ocio. La urbanización generó una creciente demanda de materias primas, que los países industriales no podían satisfacer debido al abandono progresivo de las actividades agrícolas. Por lo tanto, se vieron obligados a importar estos recursos de naciones productoras y a exportar bienes manufacturados a bajo coste, impulsando así la interdependencia económica entre países [5].

La mecanización del proceso productivo y la globalización del mercado aceleraron el desarrollo económico y dieron paso a una era de crecimiento sin precedentes. Según cifras del Banco Mundial, el PIB global pasó de alrededor de 1,85 trillones de dólares en 1850 a casi 70 trillones en el año 2001, evidenciando el impacto transformador de la industria en la economía global [1].

El impacto positivo del desarrollo económico en el siglo XX es evidente; sin embargo, estos cambios han supuesto nuevos desafíos. La sociedad enfrenta el aumento de la presión sobre los recursos naturales, al abuso de combustibles fósiles y a la desigualdad entre personas. Conscientes de estos retos, los líderes de principios del siglo XXI elaboraron planes para la transición energética, que fomentan las fuentes de energía renovables, favoreciéndose de las nuevas tecnologías de la información.

En los siguientes apartados, se realizará un análisis exhaustivo de cada uno de estos problemas, seguido por una revisión sistemática de los tratados internacionales y las soluciones tecnológicas para contrarrestarlos.

2.1. COMBUSTIBLES FÓSILES

Los combustibles fósiles son recursos naturales no renovables que se derivan de la descomposición de materia orgánica, sometida al aumento de la temperatura y de la presión en capas profundas de la corteza terrestre, a lo largo de millones de años. Este proceso de transformación lento convierte la biomasa en una sustancia con una alta capacidad energética y ha dado origen a tres tipos de combustibles: el petróleo, el carbón y el gas natural.

La quema de estos hidrocarburos produce grandes cantidades de monóxido y dióxido de carbono (CO y CO₂), gases de efecto invernadero altamente contaminantes, que dañan la atmósfera y degradan el ecosistema. No obstante, estos combustibles responden aproximadamente al 80% de la demanda actual de energía primaria a nivel mundial; llegando a liberar en 2023 36,8 billones de toneladas de CO₂ en el aire (GtCO₂), según datos del informe anual publicado por Global Carbon Project [6].

El petróleo ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo económico, convirtiéndose en el 'oro negro' que mueve la maquinaria industrial [7]. Este recurso, que contribuye significativamente al PIB mundial, ha dado un poder financiero y político considerable a las naciones que poseen reservas abundantes [8].

Se ha demostrado la correlación entre el consumo de combustibles fósiles y el crecimiento económico. Sin embargo, su abuso ha generado una fuerte dependencia de los mercados y efectos irreversibles en el medioambiente [9]. Estas consecuencias fueron omitidas hasta que en 1973 se desató la crisis petrolera, que afectó a la mayoría de los países, y modificó los objetivos del planeta haciendo que comenzaran a plantearse fuentes energéticas alternativas. No obstante, no fue hasta el año 2000 cuando se comenzó a observar una cierta tendencia a la baja en la generación de energía a partir hidrocarburos.

2.2. BRECHA ECONÓMICA, DE GÉNERO Y TECNOLÓGICA.

Las brechas sociales se originan en la desigualdad de oportunidades que enfrenta la población para acceder a una calidad de vida justa. La tecnología se presenta como una herramienta clave para cerrar la brecha actual; sin embargo, las diferencias no dejan de aumentar.

Según el economista estadounidense, Jeffrey Sachs, la brecha socioeconómica actual es el resultado de la expansión desigual de la industria. Al principio, los avances tecnológicos se concentraron en territorio inglés, pero rápidamente Alemania, Estados Unidos o Japón se sumaron a la carrera tecnológica y adoptaron el mismo modelo de crecimiento económico. Mientras tanto, otros países quedaron aislados de los avances, ya sea por motivos geográficos o históricos. Así, surgió una brecha entre países 'líderes', con capacidad endógena de innovación industrial; frente aquellos países en vías de desarrollo que se esfuerzan por alcanzar (*catch-up*) a las potencias económicas, favoreciéndose de la difusión global del progreso científico [10].

La distribución de la riqueza en el mundo crea un mapa heterogéneo y divide a la población en diferentes estratos según su capital. El Banco Mundial distingue cuatro niveles económicos – bajo, medio bajo, medio alto y alto – basándose en el ingreso nacional bruto (INB) per cápita, como se ve en la figura 2.1. Fruto de esta división, 26 países pertenecen al grupo de bajos ingresos, con un total de 719 millones de personas en situación de pobreza extrema. Es decir, 9,2% de la población global vive con unos ingresos por debajo de 2,15 dólares al día [11].

■ Low income ■ Lower middle income ■ Upper middle income ■ High income

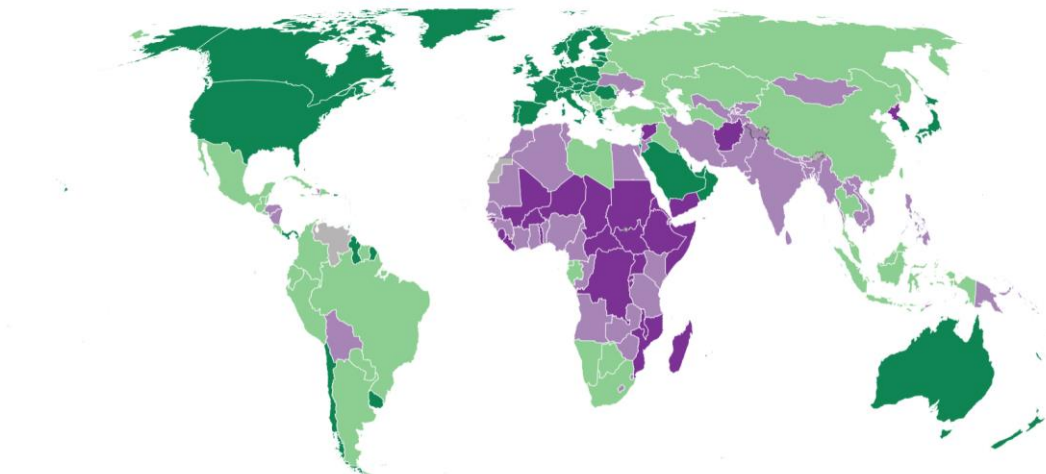


Figura 2.1: "The World by Income and Region". Fuente: The World Bank [12].

Las nuevas tecnologías han ampliado la división social anterior a la era digital. El manual *'Addressing the Digital Divide: Taking Action towards Digital Inclusion'*, publicado en 2021 por Naciones Unidas, reveló que el 87% de la población en países desarrollados usa Internet, mientras que esta cifra disminuye hasta el 44% en países en vías de desarrollo. Esta diferencia es aún más notable si se comparan las áreas urbanas y las rurales; puesto que los proveedores tecnológicos no están interesados en invertir en zonas donde la densidad poblacional es muy baja, los salarios relativamente bajos y la infraestructura muy costosa [13]. Por lo tanto, mientras que en los núcleos urbanos el 78% de la sociedad tiene acceso a Internet; en zonas rurales solo el 17%.

A medida que se aproxima el análisis a las minorías étnicas y racializadas, los efectos de estas brechas se agravan. Las zonas rurales de los países en desarrollo, con una orografía típicamente complicada, fuertes tradiciones culturales y cierto hermetismo, quedan atrapadas en un ciclo de pobreza y marginación digital.

2.3. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

La reducción de reservas petrolíferas, la presión social y el descuido del medioambiente alertó a los países, que empezaron a preocuparse a finales del siglo XX. Por ello, aparecieron las primeras iniciativas internacionales para regular el desarrollo industrial. En 1992, Naciones Unidas organizó la primera Cumbre de la Tierra, en la que buscaron ayudar a los gobiernos a repensar el desarrollo económico y encontrar formas de dejar de contaminar el planeta y agotar sus recursos naturales.

En el año 2000, los líderes internacionales se reunieron en Nueva York para elaborar la Declaración del Milenio, publicada en 2001 y con vigencia hasta 2015. En ella se establecieron ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), destinados a abordar los desafíos más urgentes a nivel mundial. Además, se acordaron metas comunes y fáciles de medir, que recogían la intención de los Estados miembros para reducir la pobreza, promover la igualdad y combatir la mortalidad.

En 2012, en Río de Janeiro, tuvo lugar la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, donde se revisó el impacto real y multisectorial de los ODM, que no lograron superar las expectativas previstas. Se concluyó que los objetivos eran demasiado

ambiciosos, con una participación excluyente, tal como se expone en los informes *'The Millennium Development Goals Report'* y *'Global Monitoring Report'* del Banco Mundial, publicados en 2015. Estas publicaciones revelaron que la pobreza extrema se redujo, pasando de un 36% de la población en 1990 al 11,5% en 2015; y 2,6 billones de personas obtuvieron acceso a fuentes de agua potable. No obstante, los resultados fueron desiguales, fruto de un enfoque económico muy marcado que dejaba de lado el progreso social y el medioambiente. Solo el 36% de las personas con SIDA recibió tratamiento médico en los países en desarrollo, donde una de cada tres personas todavía disponía de saneamiento inadecuado.

Otra de las críticas que recibieron procedía del científico Johan Rockström, que analizó el impacto de los ODM en los recursos naturales y elaboró una lista de nueve límites planetarios, señalando los umbrales críticos que una vez superados supondrían cambios potencialmente irreversibles [14]. La evaluación de estos indicadores demostró que la humanidad estaba consumiendo los recursos naturales a un ritmo insostenible, y se constató la desconexión entre el desarrollo económico que promovió la Declaración del Milenio y la protección del medioambiente.

En 2015, tiene lugar un nuevo impulso al desarrollo sostenible y la Organización de las Naciones Unidas, en la XXI Conferencia de las Partes, logró comprometer tanto a países desarrollados como en vías de desarrollo en la consecución de unos nuevos objetivos globales. A diferencia de la Declaración del Milenio, en la que solo contribuían los países desarrollados, el Acuerdo de París de 2015 fue firmado por 195 partes: 194 países más la Unión Europea. El objetivo era claro, se pretendía limitar el aumento de la temperatura global a 1,5 grados Celsius respecto a los niveles preindustriales para alcanzar la neutralidad climática en 2050.

Simultáneamente, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobaba la Agenda 2030, un plan de acción integral que tiene como objetivo principal promover el bienestar de todas las personas, al tiempo que se protege el medioambiente para las generaciones futuras. En ella se definen los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), una actualización de los ODM con un nuevo enfoque inclusivo y transversal a la sociedad, economía y el ecosistema.

Los ODS muestran un discurso participativo, donde no solo se consulta a expertos de grandes potencias económicas, sino que se escucha a todos los países, a la población civil y al sector privado. Se abandona la idea de 'ayuda' a los países en desarrollo y se busca la cooperación internacional [15]. Además, reconoce la importancia de abordar las necesidades específicas de los grupos marginados y vulnerables, utilizando datos desagregados para una mejor comprensión de su situación. Esto indica un cambio hacia un enfoque más colaborativo y equitativo en el desarrollo global.

Por otro lado, el número de objetivos, metas e indicadores aumenta, pasando de 8 a 17, de 21 a 169 y de 60 a 232 respectivamente. Estas cifras han generado controversia [16], no solo por el riesgo constante de *'only what gets measured gets done'*, sino por la sensación de que monitorizar tantos KPIs disuelve la importancia de algunos objetivos.

Los diecisiete ODS interconectan los desafíos del siglo XXI, haciendo que un impacto directo sobre uno genere impactos indirectos en el resto [17]. Por ejemplo, la erradicación de la pobreza (ODS1) no se logrará hasta conseguir una educación de calidad (ODS4) y la igualdad de género (ODS5). Esta interdependencia resalta la necesidad de enfoques holísticos y colaborativos para alcanzar un desarrollo sostenible a nivel global.

A pesar de los esfuerzos por alcanzar estos objetivos para 2030, actualmente persisten brechas significativas que limitan el progreso de los países. La estrecha relación entre el desarrollo económico y el consumo de energía sitúa al ODS7 en una posición crítica.

2.3.1. ODS7

Naciones Unidas estableció el séptimo ODS ‘Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos’, con cinco metas y seis indicadores para mejorar la eficiencia energética y aumentar el uso de fuentes de energía renovables.

- 7.1. De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.
- 7.2. De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.
- 7.3. De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.
- 7.a. De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias.
- 7.b. De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo.

El análisis de las relaciones entre la energía y el resto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible confirmó que promover la energía universal (ODS7.1) es crucial para que las personas vulnerables dispongan de servicios básicos, como el acceso a la atención médica (ODS3), acceso a la información (ODS9), con una importante contribución a la reducción de la pobreza en todas sus dimensiones (ODS1).

Además, la eficiencia en el uso de la energía (ODS7.3) desvincula el crecimiento económico del deterioro ambiental (ODS8 y ODS13), al mismo tiempo que estimula la creación de nuevos empleos. Por lo tanto, desarrollar modelos energéticos sostenibles es primordial para acabar con las desigualdades, sobre todo en países con bajos ingresos [18].



Figura 2.2: “SDG7 Interlinkages”. Fuente: Open Development Mekong [19]

2.3.2. TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Como solución a las amenazas del sobreconsumo actual, la transición energética sienta las bases del cambio y guía el proceso de extinción de los combustibles fósiles. Este impulso ha acelerado la transformación del sector, haciendo que entre 2010 y 2022, según datos de IRENA (*International Renewable Energy Agency*) los costes de las tecnologías renovables disminuyeran un 83 % en el caso de la solar fotovoltaica y un 42 % en el de la eólica terrestre [20].

Esta transición representa un cambio fundamental en la forma en que producimos, distribuimos y consumimos energía; con beneficios que incluyen la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, el acceso universal a la electricidad y el desarrollo económico. Para lograr una gestión de la transición energética exitosa hay que asegurarse de que los cambios implementados sean sostenibles. Por lo tanto, el sector técnico debe colaborar con las políticas sociales para invertir en infraestructura innovadora y sensibilizar sobre las fuentes limpias [21].

Fruto de esta fusión técnico-social, han surgido nuevas formas de generación energética descentralizada, como la solar o la eólica. Esto abre las puertas al progreso económico en países en desarrollo, puesto que permite el acceso eléctrico en zonas desconectadas de la red convencional.

A continuación, se estudiará la electrificación rural en países en desarrollo, se revisarán las fuentes de energía renovable mejor adaptadas y se analizará el papel de las nuevas tecnologías en este tipo de proyectos.

2.4. ELECTRIFICACIÓN RURAL

La energía es fundamental para el desarrollo sostenible de la sociedad. Sin embargo, la realidad es que casi 700 millones de personas en todo el mundo no tienen acceso a la electricidad.

En los últimos años, la población electrificada ha aumentado desde el 87% en 2015 al 91% en 2021, según el Banco Mundial [22]. A pesar de este progreso, aún hay 675 millones de personas sin luz eléctrica en su día a día, y la mayor parte reside en países en desarrollo. Por lo tanto, casi un 9% de población mundial no dispone del motor principal de la economía moderna.

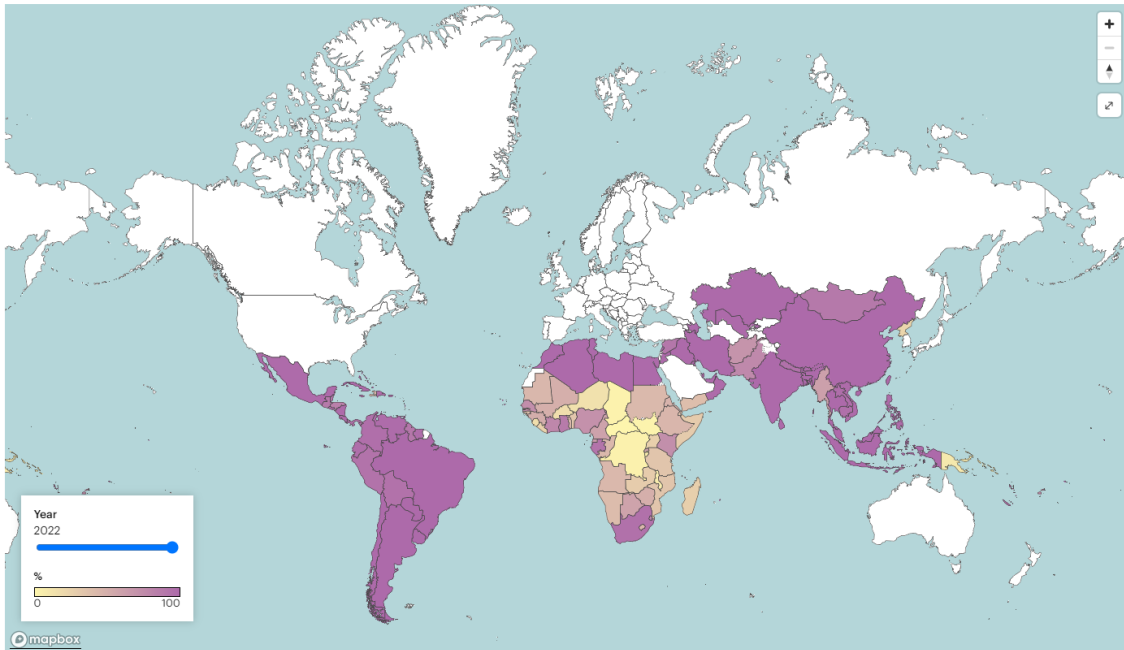


Figura 2.3: "Access to electricity map". Fuente: IEA [23]

La figura 2.3 muestra que los países con menores tasas de electrificación coinciden con los categorizados como 'bajos ingresos' en las páginas 4 y 5 de este capítulo. En este contexto de pobreza económica y energética, surge el concepto de la 'Última Milla', que engloba aquellas comunidades rurales y con baja densidad poblacional, que por barreras geográficas y sociales son marginadas del desarrollo económico actual. Esto incluye a las personas, lugares y pequeñas empresas excluidas, donde las necesidades de desarrollo son mayores y los recursos más escasos [24].

De los 675 millones de personas sin acceso a la electricidad, 600 millones viven en zonas rurales de países en desarrollo, de los cuales más del 80% pertenecen a la Última Milla. Para reducir esta cifra y cumplir la meta ODS7.1, los gobiernos crearon leyes específicas y fondos destinados a la electrificación rural [25]. No obstante, la corrupción y las presiones económicas dificultan la inversión pública en servicios de la periferia; por lo que se han buscado modelos energéticos alternativos para abordar de manera más eficiente la electrificación rural.

2.4.1. GENERACIÓN DESCENTRALIZADA DE ELECTRICIDAD

El modelo energético convencional en las zonas rurales de los países en desarrollo se basa en la quema de carbón, debido a su abundancia, bajo coste y facilidad de transporte [26].

Con el objetivo de frenar las muertes por inhalación de gases tóxicos, generados por una mala combustión de este fósil, se plantearon proyectos para extender la red eléctrica nacional. Sin embargo, esta solución no resultó óptima debido a las interrupciones frecuentes del suministro, así como el coste extremadamente elevado que supone llegar

hasta las zonas más remotas. Por lo tanto, la tendencia desde el comienzo del siglo XXI se dirige hacia un paradigma de electrificación rural descentralizada, con fuentes de energía renovable, tales como la eólica o la solar fotovoltaica [27], cuya aportación conjunta supuso el 12% de la generación de electricidad a nivel global.

La generación descentralizada hace referencia a las fuentes de energía eléctrica que no dependen de la red nacional y que se sitúan cerca de los puntos de consumo. Este modelo se caracteriza por la reducción de pérdidas en la red de distribución y las mejoras en la fiabilidad y la calidad del servicio [28]. A continuación, se estudian dos modelos de generación.

2.4.1.1. Microrredes

Las microrredes son sistemas distribuidos de generación eléctrica que pueden integrar diversas tecnologías, como la eólica y la solar. Son capaces de operar de manera independiente a la red principal, lo que las convierte en un 'recurso de resiliencia' ante interrupciones del suministro [29]. Por ello, son una buena solución para proyectos de electrificación de comunidades rurales, gracias a su flexibilidad y capacidad de adaptación a las necesidades locales. Según el informe '*Mini Grids for Half a Billion People*' del ESMAP (*Energy Sector Management Assistance Program*) y el Banco Mundial, en 2022, 47 millones de personas estaban conectadas a microrredes.

Las microrredes son especialmente útiles en comunidades pequeñas, donde la dispersión de viviendas es baja. En estas circunstancias, las pérdidas en los cables son mínimas debido a la corta distancia entre el generador y el usuario final, lo que también reduce el coste total de la red [30]. Por consiguiente, la eficacia de las microrredes en proyectos de electrificación rural está estrechamente ligada a la disposición geográfica y a la dispersión de la población en las comunidades que atienden.

2.4.1.2. Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios (SFD)

Los Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios (SFD), o Solar Home System (SHS), son dispositivos autónomos, de fácil instalación, que aprovechan la energía del sol a través de paneles solares fotovoltaicos. La luz solar se transforma en corriente eléctrica continua, que carga las baterías durante el día para abastecer el consumo nocturno. A la salida de la batería, el inversor transforma la corriente en alterna y el regulador gestiona la energía de entrada a los dispositivos conectados [31].

Los SHS pueden variar en tamaño y capacidad, desde modelos básicos que alimentan dispositivos pequeños hasta sistemas más complejos que pueden alimentar múltiples electrodomésticos y herramientas.

Desde 2005 se utilizan sistemas fotovoltaicos de tercera generación (SDF3G) que presentan mejoras importantes para facilitar su implementación en áreas remotas. Estos equipos son autoinstalables (*plug and play*), y emplean baterías de litio en lugar de baterías de plomo, lo que reduce el peso del sistema y facilita su transporte a las comunidades. También tienen un precio aproximadamente un 50% más bajo que los de segunda generación, además de una vida útil más larga y una menor probabilidad de averías [32].

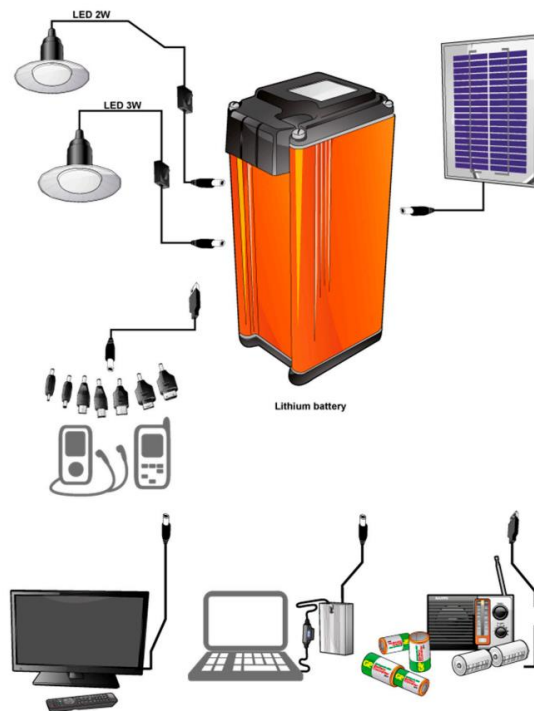


Figura 2.4: "Poster of 3G-SHSs". Fuente: Sustainability 2021 [32]

Por otro lado, la introducción de microcontroladores en los SFD3G marcó un hito en la gestión y optimización de estos equipos, puesto que permiten monitorizar el consumo, así como el control remoto y la integración de sistemas de pago móvil. Esta combinación de tecnologías no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también abre nuevas oportunidades de negocio, especialmente dirigidas a poblaciones sin acceso a la red eléctrica convencional.

2.4.2. MODELO DE GESTIÓN EN PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL

El modelo de gestión de una empresa proporciona un marco integral que identifica los elementos necesarios para poder ofrecer un producto o servicio, y los interrelaciona para facilitar la operativa.

El contexto particular de los proyectos de electrificación rural dificulta la extrapolación de los modelos energéticos más avanzados, por lo que es necesario definir un esquema propio para los proveedores de luz eléctrica en zonas aisladas. En 2023, la Universidad Politécnica de Madrid propuso un configurador especializado para este tipo de proyectos, que abarca tres dimensiones: gobernanza, tecnología y negocio; con 15 elementos y 47 valores [2].

La gobernanza hace referencia a la propiedad, explotación y mantenimiento del servicio, con una clara tendencia hacia iniciativas privadas con alianzas 5P "Pro-Poor Public-Private Partnership" (56%) [33], o público-privadas (38%). En la mayoría de los casos, el promotor del proyecto es el inversor, que se encarga de la gestión tanto de los pagos como del mantenimiento.

Por otro lado, el modelo tecnológico se refiere exclusivamente a la generación eléctrica. De acuerdo con la revisión literaria previa, actualmente, el 97% de los equipos en proyectos de electrificación rural son descentralizados, con fuentes energéticas no convencionales, (94%) y con carga autónoma (89%).

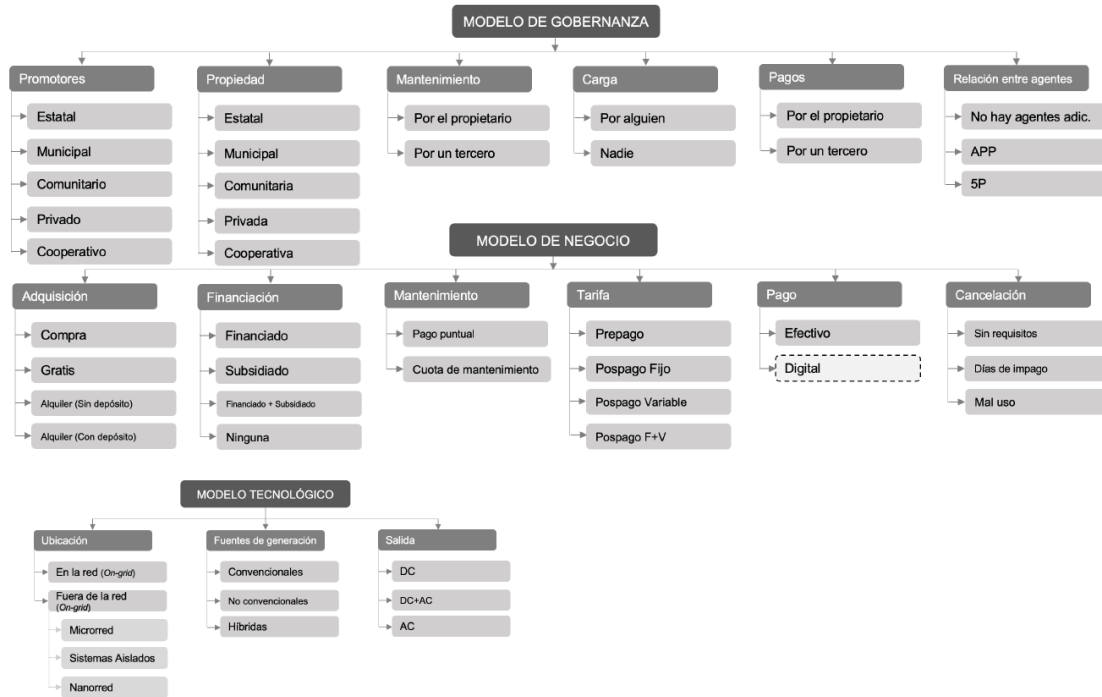


Figura 2.5: “Configurador de modelos de gestión en proyectos de electrificación rural”. Fuente: UPM [2]

El tercer pilar es la dimensión de negocio, que define la estrategia y el plan de ruta para las acciones que se deben llevar a cabo. El modelo más común en implantaciones energéticas rurales es ‘Energy-as-a-Service’ (EaaS), que ha logrado eliminar la inversión inicial en equipos generadores y ofrece un servicio estable, económicamente flexible [34].

Según el modelo EaaS, el 76% de los clientes alquila un equipo de generación eléctrica que dispone de un servicio de acceso eléctrico bajo demanda. De esta forma, el proveedor asume los gastos de operación y el cliente paga una cuota por el uso del servicio y su mantenimiento. En el caso de los sistemas fotovoltaicos domiciliarios, el proveedor instala los paneles solares en la vivienda del cliente y éste paga una tarifa por la energía generada por dichos paneles [35].

Estas tarifas son principalmente fijas, y hasta hace poco pospago. Sin embargo, se ha demostrado que esto aumenta significativamente el índice de impago, por lo que la evolución actual de la electrificación tiende al prepago, o a sistemas *Pay-As-You-Go* (PAYG), en los que se abona el dinero en el momento de consumo, en vez de financiarlo por adelantado o saldar la deuda más adelante.

El abono de estas cuotas se realiza siempre en efectivo, aunque el informe “*Sustaining digital payments growth: Winning models in emerging markets*” de McKinsey & Company reveló en 2022 que el índice de crecimiento de los pagos digitales en países en desarrollo había aumentado un 25% entre 2018 y 2021 [36]. Sin embargo, sigue existiendo desconfianza por parte de los usuarios por temor al fraude en países con índices muy elevados de corrupción.

2.5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE SERVICIOS ENERGÉTICOS

Un sistema de información (SI) es un software que recopila, almacena y procesa datos masivos procedentes de distintas fuentes, con el objetivo de emplearlos para controlar la operativa de una empresa, evaluar indicadores o hacer predicciones. Es decir, se encarga de la gestión eficiente de los datos para lograr beneficios en tiempo y en ingresos.

A nivel económico y tecnológico, un escenario ideal del modelo EaaS aprovecharía el software de los sistemas energéticos aislados de última generación. Esto crearía una red de objetos conectados (IoT) que vincularía el generador con el teléfono del cliente y el proveedor de energía. De esta forma, se podría pagar a distancia la tarifa correspondiente al suministro, que activaría automáticamente el generador eléctrico [37].

En busca de esta interconexión que optimice la gestión de proyectos de electrificación, han surgido sistemas de información especializados, que controlan y dirigen el servicio eléctrico a través de microprocesadores en los equipos.

En el contexto energético, los SI más interesantes son los CRM (*Customer Relationship Management*) o los ERP (*Enterprise Resources Planning*). Estas herramientas digitalizan y optimizan los procesos de negocio, mejorando las interacciones con los clientes y facilitando el control de los recursos.

2.5.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN COMERCIALES

Un sistema ERP integra procesos de fabricación, finanzas o recursos humanos en una única herramienta, desde donde se pueden gestionar todas las actividades necesarias para ofrecer un servicio o producto. Esta integración facilita la coordinación entre áreas, reduce los errores y proporciona una visión completa y actualizada de las operaciones de la empresa.

Mientras tanto, un sistema CRM proporciona información para coordinar todos los procesos relacionados con clientes, ventas y marketing; con el objetivo de aumentar los ingresos. En él se registran todas las interacciones para identificar, atraer y retener a los clientes más rentables; fortalecer las relaciones comerciales y mejorar el rendimiento económico [38].

Las empresas líderes que ofrecen este tipo de softwares son SAP y Salesforce, aunque existen otras alternativas como Oracle o Microsoft Dynamics. SAP es reconocida principalmente por ofrecer un sistema ERP robusto y parametrizable; que abarca una amplia gama de funciones empresariales, desde finanzas y contabilidad hasta gestión de la cadena de suministro. Por su parte, Salesforce se basa en su plataforma CRM, líder en el mercado, que prioriza la gestión de la relación con los clientes y la automatización de ventas, con una interfaz más flexible. Sin embargo, ambas empresas han ampliado en los últimos años su cartera y ahora ofrecen soluciones que se superponen [39].

2.5.1.1. Módulos CRM-ERP

Los sistemas de información (SI) tienen una arquitectura modular; es decir, las actividades empresariales se organizan en “módulos” independientes que realizan funciones específicas dentro del sistema. Sin embargo, cuando trabajan juntos comparten la base de datos, lo que garantiza la interconexión de todos los procesos. Esto hace que los SI sean muy flexibles, con una fácil integración de nuevos módulos.

Los módulos CRM-ERP más interesantes para la electrificación de la Última Milla son:

- Clientes: gestión de las relaciones con los *leads*. Captura y analiza datos para comprender mejor las necesidades y proporcionar un servicio personalizado.
- Compras: identificación de proveedores, generación de órdenes de compra y seguimiento de entregas. Optimiza los procesos de adquisición de materiales y servicios.
- Ventas: seguimiento de pedidos y la facturación. Mejora la eficiencia de los equipos comerciales y aumenta la rentabilidad.
- Almacén: gestión eficiente del inventario de productos y materiales. Controla las existencias, movimientos y ubicaciones dentro del almacén, lo que reduce los costes de almacenamiento.
- Mantenimiento: evaluación periódica de los componentes para la gestión preventiva o correctiva de las averías, con el objetivo de reducir las sustituciones de material y reducir los costes de reparación.
- Contabilidad y Finanzas: registro de las transacciones financieras. Genera informes precisos sobre la situación económica y financiera, y facilita el cumplimiento de obligaciones fiscales.
- Informes: análisis que ofrecen una visión completa del negocio. Permite tomar decisiones estratégicas basadas en datos concretos sobre el rendimiento de la empresa en diferentes áreas.

2.5.2. TECNOLOGÍA ADAPTADA

Las funcionalidades de los sistemas de información facilitarían notablemente la gestión de proyectos de electrificación rural; no obstante, las limitaciones del contexto crean barreras de entrada que obligan a los modelos EaaS a descartarlos. En primer lugar, la implantación de las herramientas puede ser compleja debido a la falta de infraestructura tecnológica en estas áreas, como redes de conexión robustas o cobertura estable. Por otro lado, el coste de las licencias de estas herramientas es excesivamente alto para el proveedor e insostenible para el proyecto. Finalmente, la experiencia tecnológica de las comunidades aisladas suele ser reducida, algo para lo que la operativa de los SI comerciales no está preparada.

A diferencia de la tecnología ‘masiva’ diseñada por y para los países enriquecidos, la tecnología ‘adaptada’ se moldea según las necesidades específicas del usuario final; convirtiéndola en una opción muy interesante en proyectos en países en desarrollo [40].

Actualmente, los modelos EaaS recurren principalmente a tres sistemas de información comerciales adaptados: Angaza, PaygOps y Paygee.

En primer lugar, Angaza es un CRM diseñado específicamente para empresas que operan en áreas remotas, ofreciendo soluciones personalizadas para negocios de cualquier tamaño. Tiene presencia en más de 50 países, donde mejora procesos, aumenta ventas y optimiza estrategias de marketing mediante la digitalización y el aprovechamiento de grandes volúmenes de datos. Entre las ventajas de este *software* se encuentran la capacidad de realizar pagos móviles, según el modelo PAYG; y la posibilidad de funcionar sin conexión a Internet. Además, es una herramienta usable, interoperable y abierta.

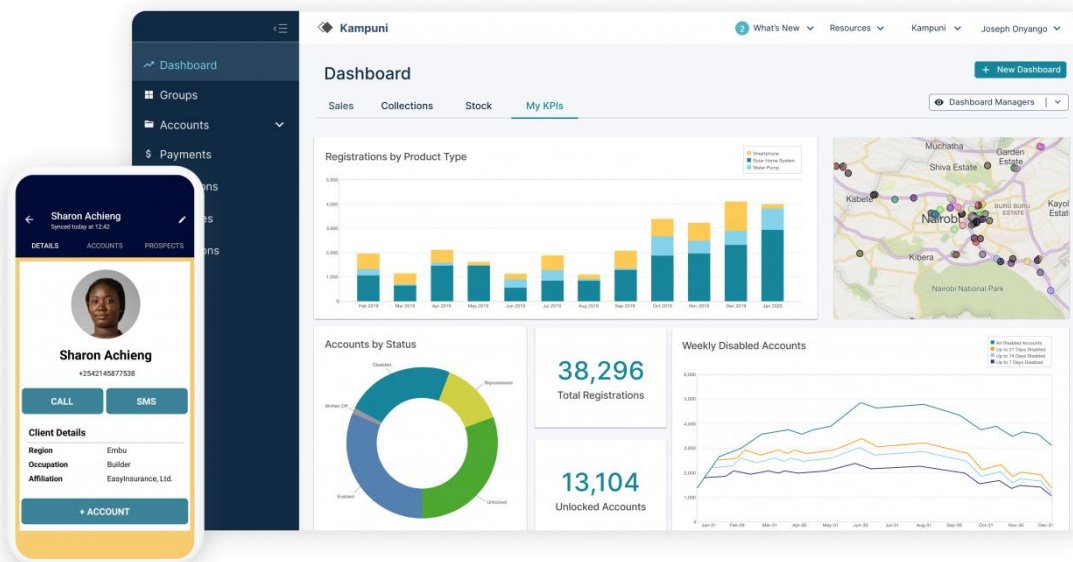


Figura 2.6: “Cuadro de mando de Angaza”. Fuente: Angaza [41]

Por otro lado, destacan PaygOps (desarrollado por Solaris Offgrid) y Paygee, cuyo enfoque está en el pago móvil. Ambos CRM proporcionan un código abierto y una interfaz usable, con avanzadas funcionalidades de gestión de pagos y seguimiento de equipos para empresas que ofrecen productos y servicios con modelos de pago flexibles [42].

Estas tres empresas son ejemplos de cómo la tecnología adaptada está transformando la manera en que las empresas operan en entornos difíciles y remotas, mejorando así el acceso a productos y servicios esenciales para comunidades en todo el mundo.

Angaza, PaygOps y Paygee superan las barreras tecnológicas antes comentadas. Sin embargo, permanece la barrera económica, puesto que el coste de suscripción a estas herramientas CRM aumenta según el número de clientes, lo que las convierte en una opción costosa para proyectos de gran tamaño [41].

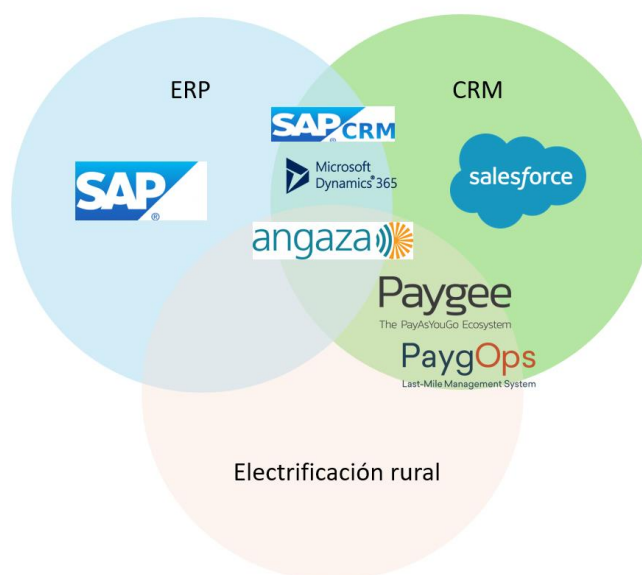


Figura 2.7: “Sistemas de Información para la electrificación rural”. Elaboración propia

2.6. EL PROBLEMA DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS EN PAÍSES EN DESARROLLO

La revisión anterior muestra que existen sistemas de información adaptados para establecer y gestionar la relación entre proveedor y cliente. Sin embargo, existe un vacío en la preocupación por la gestión de activos de las empresas en los países en desarrollo.

Durante mucho tiempo, las organizaciones se han centrado en la transferencia de la tecnología, pero han descuidado la transferencia de las técnicas de administración interna. En cualquier empresa, la gestión de activos es un proceso sistemático de planificación, operación, mantenimiento y reemplazo de activos de manera efectiva, con mínimo riesgo y con la menor pérdida de tiempo. Por lo tanto, incluye todas las actividades relacionadas con O&M (Operación y Mantenimiento), pero también abarca tareas comerciales, como la compra a proveedores [43].

En los entornos rurales, la gestión ineficaz del inventario se debe principalmente a la imprecisión de los plazos de entrega, provocada por la alta tasa de productos importados, los retrasos burocráticos y los problemas de comunicación digital. Por lo tanto, los fabricantes intentan superar esta incertidumbre almacenando cantidades excesivas de equipos en reserva [44]. Este excedente permanece en los almacenes, generalmente con registros manuscritos o inexistentes, dando lugar a pérdidas, robos o fallos por mala conservación.

En cuanto al mantenimiento, los países en desarrollo se enfrentan típicamente a dos retos. Por un lado, se busca el aumento del tiempo entre fallos ('Mean Time Between Failures', MTBF); y por otro, la correcta asignación de recursos humanos y económicos para este fin. Actualmente, en las zonas rurales prevalece un enfoque 'correctivo', es decir, se interviene sobre un equipo una vez que se ha producido una avería. Por lo tanto, es frecuente encontrar empresas con estas características, que parecían muy estables en su etapa de crecimiento, pero que finalmente no fueron sostenibles en ningún plano – social, medioambiental y económico – debido a una mala gestión de los recursos.

Para lograr un rendimiento óptimo, es esencial adoptar mecanismos de control de inventario automatizados y modificar el tipo de mantenimiento hacia el modelo 'preventivo' [45], que se centra en minimizar el coste de reparación y maximizar la disponibilidad del equipo mediante una supervisión periódica.

2.6.1. OPERACIONES Y MANTENIMIENTO (O&M) EN EL SECTOR ENERGÉTICO FOTOVOLTAICO

En el ámbito de la energía solar fotovoltaica, las operaciones y el mantenimiento (O&M) son fundamentales para garantizar el máximo rendimiento y prolongar la vida útil de los paneles. Estas actividades incluyen el seguimiento y la supervisión constante de los sistemas fotovoltaicos, por lo que la tecnología actual tiende hacia técnicas de monitorización avanzadas que proporcionan herramientas de pronóstico y diagnóstico.

Para lograr una operación eficiente y monitorizada de forma remota es esencial que los equipos fotovoltaicos cuenten con sistemas integrados de recolección de datos. Estos deben estar vinculados a herramientas robustas capaces de procesar los datos en tiempo real, interpretarlos y generar informes detallados sobre el estado de los paneles solares [46]. Esta

capacidad permite un seguimiento exhaustivo de los equipos, facilitando la gestión de la información y la prevención de intervenciones en caso de posibles averías.

Aunque se ha demostrado que la tecnología moderna permite la automatización de muchos procesos de operación y mantenimiento; en los proyectos de electrificación rural en países en desarrollo, es fundamental contar con personal local capacitado, debido a la baja infraestructura digital. El personal debe ser capaz de realizar trabajos en las instalaciones rápidamente para minimizar los tiempos de parada del sistema y asegurar un suministro continuo de energía. Además, es esencial disponer de almacenes para repuestos y herramientas en la comunidad local o en una ubicación cercana, con una correcta gestión de inventario. Esto optimiza los tiempos de respuesta y reduce los tiempos de inactividad en caso de averías.

3. CONTEXTO

En este capítulo se muestran las áreas de actuación de Acciona.org y se muestra la operativa específica que se desarrolla en los proyectos de electrificación rural.

A continuación, se define la situación actual de las implantaciones y se expone la operativa, junto con las tecnologías y las limitaciones.

Finalmente, se muestra el estado del que se parte en el sistema de información 'Proteo' para la gestión del servicio eléctrico, explicando la jerarquía de roles, los módulos ya implementados y las funcionalidades más relevantes.

3.1. ACCIONA.ORG

Acciona S.A. es una empresa española especializada en soluciones de infraestructura civil sostenible, abarcando toda la cadena de valor desde el diseño y la construcción, hasta la operativa y el mantenimiento. Se centra en las energías renovables y es líder nacional en la transición hacia una economía sostenible.

Apoyándose en su consolidada experiencia en el sector, en 2008 creó su fundación corporativa, llamada Acciona.org 'The Energy and Water Foundation', a través de la cual participa en proyectos no lucrativos para dar acceso a servicios básicos universales en países en desarrollo [47].

La fundación tiene por objetivo suministrar electricidad, agua, cocinado limpio y saneamiento a personas sin previsión de tener acceso a estos servicios de forma convencional, gracias a la introducción de modelos de negocio sostenibles. Para ello, se beneficia del potencial humano y la tecnología desarrollada por la empresa matriz; pero también busca asociaciones con ONGs o instituciones académicas, como la Universidad Politécnica de Madrid. Además, busca la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos, por lo que crea organizaciones filiales sin ánimo de lucro en los países donde opera.

Acciona.org trabaja en Chile, España, Etiopía, Filipinas, México, Panamá y Perú, mejorando la vida y suministrando servicios básicos a más de cien mil personas. La fundación está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 y colabora con el desarrollo de la economía y la sociedad, protegiendo el medioambiente. En concreto, las actuaciones se relacionan con el ODS6 'Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos', el ODS7 'Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos' y el ODS9 'Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación'.

3.2. PROYECTOS DE MICROENERGÍA

En los países en desarrollo, el coste de ampliar la red eléctrica convencional para extender el suministro hasta un punto remoto es económicamente insostenible. A finales del siglo XX, las organizaciones recurrieron al carbón como solución transitoria a la demanda de energía, debido a su disponibilidad, bajo coste y fácil transporte [48]. Sin embargo, Acciona.org se alineó con el ODS7 y pretende acabar con la perpetuación de la dependencia

de los combustibles fósiles y frenar el riesgo de enfermedades por inhalación de humos tóxicos.

En 2018 se crearon los proyectos de Acciona Microenergía para facilitar el acceso a formas modernas de electricidad en comunidades aisladas de Sudamérica y Filipinas. Para ello, Acciona.org se sirve de un modelo de negocio innovador, basado en la provisión de electricidad con fuentes renovables, a cambio de una cuota mensual asequible; y siempre más salubres que los sistemas alternativos de iluminación existentes como las velas, pilas, mecheros de combustible, etc.

La tecnología escogida para desarrollar este tipo de proyectos es la solar fotovoltaica. En el mercado se encuentran diversas opciones de generación eléctrica, como las microrredes y las nanorredes, que pueden satisfacer de manera autónoma las necesidades energéticas de comunidades de talla mediana con baja dispersión poblacional. Sin embargo, Acciona Microenergía va dirigido a usuarios en zonas de difícil acceso, que habitan en viviendas distanciadas, con una infraestructura limitada y fuertes tradiciones culturales. Para superar estas barreras, Acciona.org ha optado por trabajar con Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios de Tercera Generación (SFD3G). Estos son autoinstalables, fácilmente transportables, no contaminantes y cubren la demanda energética de los usuarios. Por lo tanto, son una solución moderna y segura para hogares aislados.

En cifras, el servicio de acceso a electricidad mediante SFD3G de Acciona.org permitió que más de 44.000 niños pudieran invertir 1,32 millones de horas sin luz solar en realizar sus tareas; y el uso de energías renovables evitó la emisión de hasta 8.764 toneladas de CO₂. Además, la distribución de equipos y la gestión de los suministros propició la creación de 45 negocios íntegramente liderados por pequeños emprendedores locales, de los cuales 19 son mujeres [49].

3.3. MODELO DE NEGOCIO SOSTENIBLE

Los Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios de Tercera Generación de Acciona.org, suministrados por Zimpertec y Fosera, se distribuyen en kits de tamaño y potencia variable. Estos kits ofrecen una solución completa para la generación de energía solar en el hogar, e incluyen componentes como una caja de control, paneles solares y varios dispositivos eléctricos como lámparas, radios o cables USB. El servicio se basa en un modelo Energy-as-a-Service, lo que significa que los usuarios no adquieren los equipos, sino que pagan una cuota periódica por su uso exclusivo.

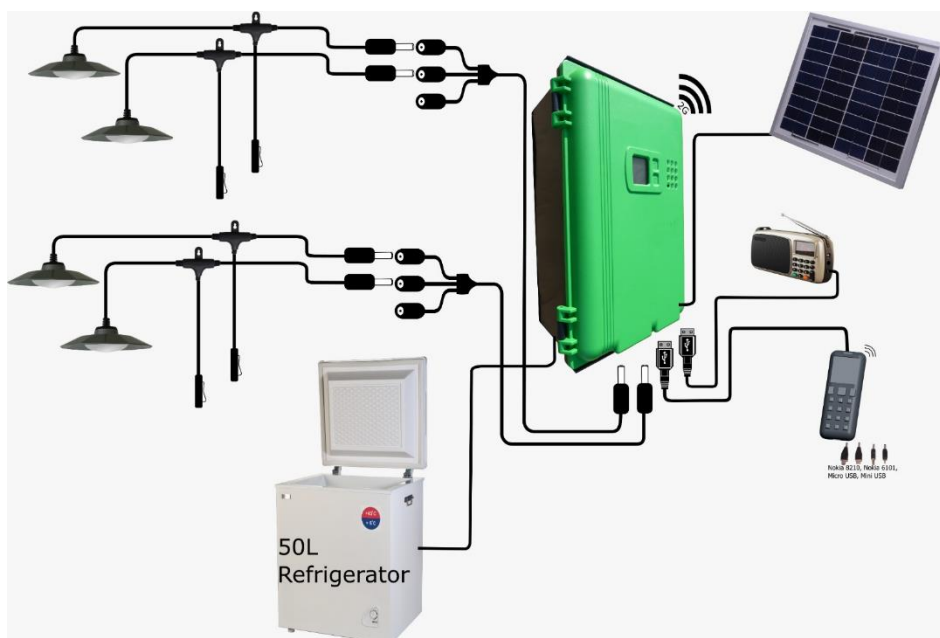


Figura 3.1: "Diagrama de funcionamiento de un SFD". Fuente: Zimpertec [50]

Todos los kits incorporan el método de pago Pay-as-you-go (PAYG), que permite a los usuarios pagar por la energía eléctrica según sus necesidades y capacidad financiera. Este sistema es prepago, lo que significa que los usuarios pagan por adelantado un código de desbloqueo que activa el equipo durante el período por el que se ha abonado la cuota.

Acciona Microenergía impulsa la sostenibilidad económica mediante la creación de micronegocios locales donde se llevan a cabo las transacciones económicas. La fundación establece colaboraciones con pequeños comerciantes a quienes forma y capacita para generar códigos. Los establecimientos seleccionados para la distribución del servicio se llaman 'Centros de Luz en Casa' (CLC) y a las personas encargadas de la gestión se les conoce como 'Emprendedores'. Estos negocios no solo promueven la inclusión económica de las comunidades locales, sino que también generan oportunidades de empleo y contribuyen al desarrollo de las áreas donde operan.

Los pagos se realizan principalmente en efectivo, aunque existe un piloto de pruebas para pagos móviles. Este dominio del efectivo exige que los usuarios se desplacen físicamente al Centro de Luz en Casa para abonar las cuotas, lo que puede representar un desafío logístico para ciertas personas. Por lo tanto, en algunos países, se ha creado un 'Comité de Electrificación Fotovoltaica' (CEF) que representa a un grupo de clientes. Este comité tiene distintos roles, como presidente, tesorero y secretario; pero su objetivo principal es que solo un miembro del CEF se desplace al micronegocio donde abona la cuota del grupo al que representa, y regresa con los códigos de activación de todos ellos.

A un nivel superior, Acciona.org cuenta con personal designado en cada país con una función administrativa. Este grupo de personas, conocido como 'administradores de Oficina', o solo 'Oficina', se encarga de supervisar y coordinar el funcionamiento de los Centros de Luz en Casa (CLC). Sus responsabilidades incluyen tareas de gestión, como la firma de contratos para dar de alta a un cliente en el servicio; así como intervenir en momentos críticos para brindar apoyo y asistencia técnica cuando sea necesario. Oficina sirve de lazo de unión entre el trabajo diario en campo y Acciona.org Madrid, desde donde se organizan por completo los proyectos de Microenergía.

Por lo tanto, las partes involucradas en el proyecto presentan una jerarquía piramidal, que será muy útil en la digitalización de los roles.

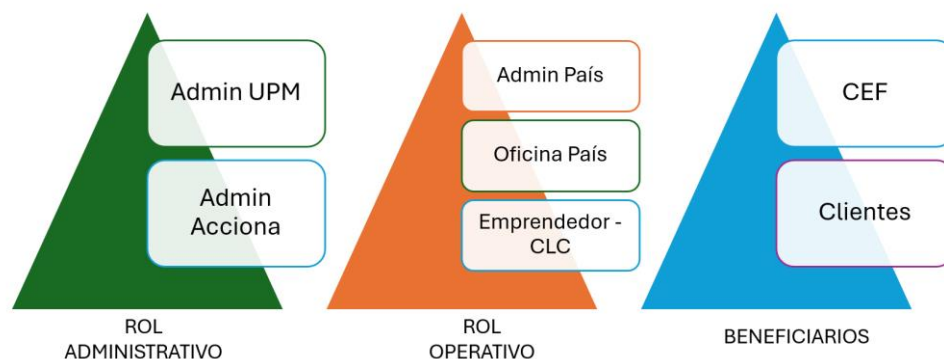


Figura 3.2: "Jerarquía de los miembros". Elaboración propia.

3.4. DIGITALIZACIÓN DEL SERVICIO

Cuando Acciona.org inició sus proyectos de electrificación rural en zonas aisladas, el número de clientes era limitado y la gestión del servicio podía realizarse manualmente. Los códigos se distribuían manuscritos y el listado de clientes se registraba en Salesforce, un sistema de información comercial no adaptado al contexto particular. Sin embargo, con la posterior expansión a nuevas comunidades, el proyecto experimentó un crecimiento significativo en el volumen de usuarios, haciendo ingobernable el modelo de negocio del momento.

La necesidad de digitalizar el proceso fue imperativa para mantener la calidad del servicio ofrecido a las comunidades beneficiarias. Al principio, Acciona.org adoptó Angaza, una herramienta CRM (*Customer Relationship Management*) comercial que ofrecía un precio asequible para la gestión de transacciones de un proyecto sin ánimo de lucro. A través de esta plataforma, se administraban los datos del servicio de Microenergía y se realizaban las ventas de códigos de activación para SFD3G. No obstante, el volumen de clientes siguió en aumento y se detectó la necesidad de crear una herramienta propia, escalable y que se ajustara a las características específicas de los proyectos que estaba ejecutando Acciona.org.

Así surgió Proteo, una herramienta financiada por Acciona.org y desarrollada por la Cátedra de Digitalización del Acceso a Servicios Básicos Universales de la ETSI de Telecomunicación de la UPM.

3.4.1. PROTEO GESTOR

Proteo es una herramienta CRM, que actualmente integra funcionalidades de ERP (*Enterprise Resources Plannig*) y BI (*Business Intelligence*), y está exclusivamente diseñada para la explotación de proyectos de electrificación rural en zonas aisladas de países en desarrollo.

Tras varios años analizando los procesos que se realizaban durante la ejecución de los proyectos, el equipo de la UPM diseñó y desarrolló una solución adaptada al contexto tecnológico de las zonas de implantación. El resultado es una herramienta independiente del proveedor de los SHS, que puede trabajar sin conexión a internet y que está especialmente diseñada para ser usable para personas sin experiencia digital. Además, se

adapta al dispositivo desde donde se accede, de forma que la experiencia de usuario es agradable desde cualquier aparato.

En 2023, Acciona.org y la UPM migraron los datos existentes a Proteo y capacitaron a los gestores de la nueva herramienta; es decir, a los administradores de Oficina y los Emprendedores.

A continuación, se va a analizar el estado actual de Proteo, habiéndose escogido el entorno de Panamá para mostrar el diseño y las funcionalidades básicas de la herramienta.

3.4.2. MÓDULOS Y FUNCIONALIDADES DE LA HERRAMIENTA

En primer lugar, Proteo establece la jerarquía de roles que se contempló en la figura 3.2. Esto permite personalizar qué funciones podrá realizar y visualizar cada gestor que entre al sistema. En esta memoria se accede a la herramienta con el rol 'Admin UPM' por lo que se pueden realizar todas las funcionalidades.

Una vez hecho *login*, Proteo cuenta con una barra de menú superior en el que se presentan cuatro módulos diferenciados: Inicio, Clientes, Ventas e Inventario.

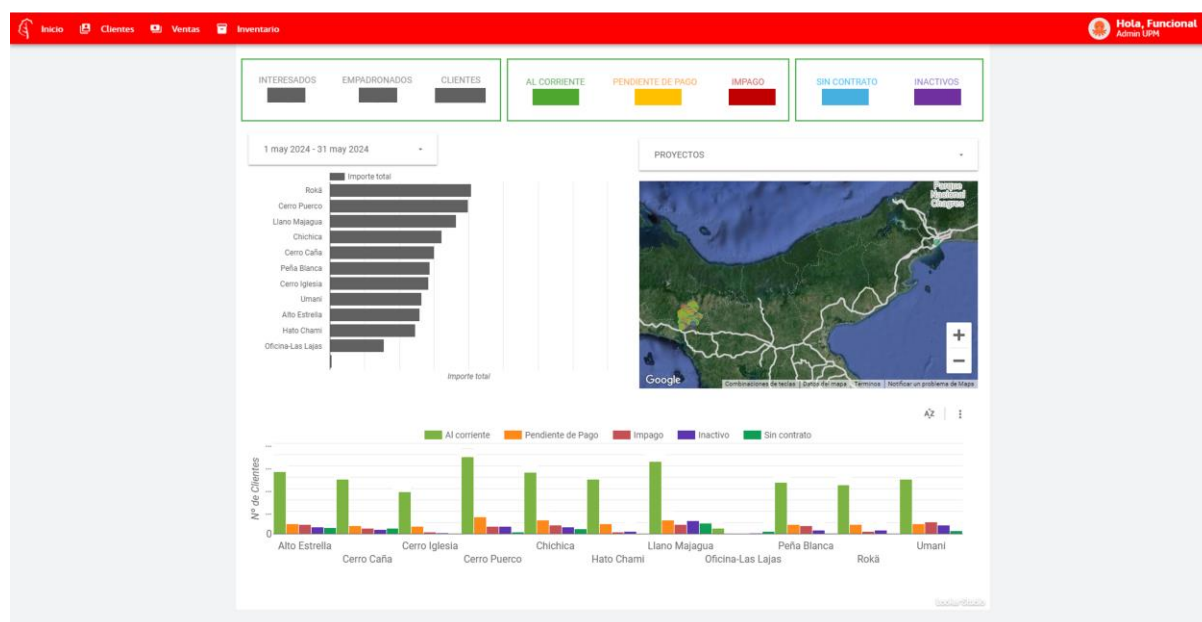


Figura 3.3: "Cuadro de mando BI". Fuente: Proteo

La página de 'Inicio' funciona como un cuadro de mando financiero, proporcionando una visión general de la situación económica del proyecto. A través de gráficos y tablas interactivas, los usuarios pueden analizar la rentabilidad del proyecto, gestionar la tesorería y tomar decisiones sobre la asignación de equipos. Esta funcionalidad representa las capacidades propias de un módulo de Business Intelligence (BI), que ayuda a maximizar la eficiencia del proyecto mediante el análisis de datos en tiempo real.

A continuación, 'Clientes' y 'Ventas' son módulos propios de un CRM. 'Clientes' muestra la tabla de los beneficiarios del servicio, así como los leads, o clientes potenciales; como los Empadronados e Interesados. En ella aparece información relevante como el DNI del cliente, su estado de pago y el equipo asociado.

Figura 3.4: “Módulo Clientes”. Fuente: Proteo

Esta vista se diseñó para ser operativa para los emprendedores. Desde ella se crean o importan los clientes, se editan los datos personales y se venden los códigos. Además, incluye funcionalidades importantes para la administración como la descarga, en formato Excel, de la lista de clientes o la descarga masiva de contratos.

El módulo de Ventas es un repositorio de todas las transacciones realizadas desde Proteo. Cada registro individual incluye el nombre del cliente y su equipo asociado, con el código que se le ha vendido y el importe que ha pagado en la moneda correspondiente. Además, se guarda el CLC emisor del código y la fecha de la compra.

Figura 3.5: “Módulo Ventas”. Fuente: Proteo

Este módulo es especialmente importante para Acciona.org en España, puesto que permite controlar el flujo económico del proyecto, mediante la descarga de reportes financieros sobre la actividad en los CLCs. Debido a la importancia de estos datos, las ventas solo podrán ser eliminadas por gestores de la herramienta con roles muy elevados; si un

emprendedor desea corregir una venta solo podrá anularla, de forma que sigue estando registrada pero no es vinculante.

Por último, ‘Inventario’ actúa como el almacén digital central donde se registran todos los equipos dados de alta en el sistema; ya estén disponibles, asignados a clientes o retirados. Este módulo es esencial en un sistema ERP puesto que garantiza una gestión eficiente de los recursos.

‘Inventario’ permite a los administradores de Oficina realizar un seguimiento preciso del mantenimiento de los equipos mediante pruebas de recepción y supervisión. Además, desde esta vista también se pueden realizar ventas, pero es menos común puesto que es más fácil filtrar por el nombre en el módulo ‘Clientes’.

Identificador	Modelo	Proveedor	Tarifa	Proyecto Financiador	Fecha de incorporación	Resultado de las pruebas	Estado
	LSHS 10500	OGM NB	LCNB Piloto	LCNB Piloto	17/01/2023	No realizadas	Disponible
	LSHS 10500	OGM NB	LCNB Piloto	LCNB Piloto	17/01/2023	Favorables	Disponible
	LSX 11.5 Ah	Zimpertec	OGM NB	LCNB 2023	25/01/2024	No realizadas	Asignado
	LSX 11.5 Ah	Zimpertec	OGM NB	LCNB 2023	25/01/2024	Favorables	Asignado
	LSX 11.5 Ah	Zimpertec	OGM NB	LCNB 2023	25/01/2024	No realizadas	Asignado
	LSX 11.5 Ah	Zimpertec	OGM NB	LCNB 2023	25/01/2024	No realizadas	Asignado
	LSX 11.5 Ah	Zimpertec	OGM NB	LCNB 2023	25/01/2024	No realizadas	Asignado
	LSX 11.5 Ah	Zimpertec	OGM NB	LCNB 2023	25/01/2024	No realizadas	Asignado
	LSX 11.5 Ah	Zimpertec	OGM NB	LCNB 2023	25/01/2024	No realizadas	Disponible

Figura 3.6: “Módulo Inventario”. Fuente: Proteo

Por otro lado, Proteo cuenta con un menú secundario de configuración parametrizable. Es decir, los roles superiores pueden acceder a los ajustes del sistema para añadir, editar o eliminar ciertos campos. Por ejemplo, en ciertos países conviven multitud de modelos de SFD3G, por lo que los administradores de ‘Oficina’ han creado varias entradas en Proteo para agilizar procesos posteriores, como se puede observar en la figura 3.7.

Nombre	Proveedor	Potencia	Vida media	Capacidad (Wh)	Capacidad (Ah)	Voltaje
SHS 50 Ah	Zimpertec	300	100	640	50	12
SHS 25 Ah	Zimpertec	150	100	320	25	12
PCBA - SHS 50 Ah						
PCBA - LSX 22 Ah		150	65	294	23	12
PCBA - LSX 11.5 Ah		50	65	148	11.5	
LSX 22 Ah	Zimpertec	150	65	294	23	12
LSX 11.5 Ah	Zimpertec	100	65	148	11.5	12
LSHS 10500		35	30	45	45	9

Figura 3.7: “Configuración -> Modelos”. Fuente: Proteo

Adicionalmente, se está trabajando en un Portal de Cliente para los beneficiarios, con formato *Progressive Web App* (PWA), que opera como una página web, pero se muestra visualmente como una aplicación. De esta forma, no ocupa espacio en el dispositivo y mantiene su diseño amigable.

Desde el Portal de Cliente, los usuarios pueden controlar su suministro y pagar vía telemática los códigos. Por ahora este módulo está en pruebas, pero su estado de desarrollo es muy avanzado.

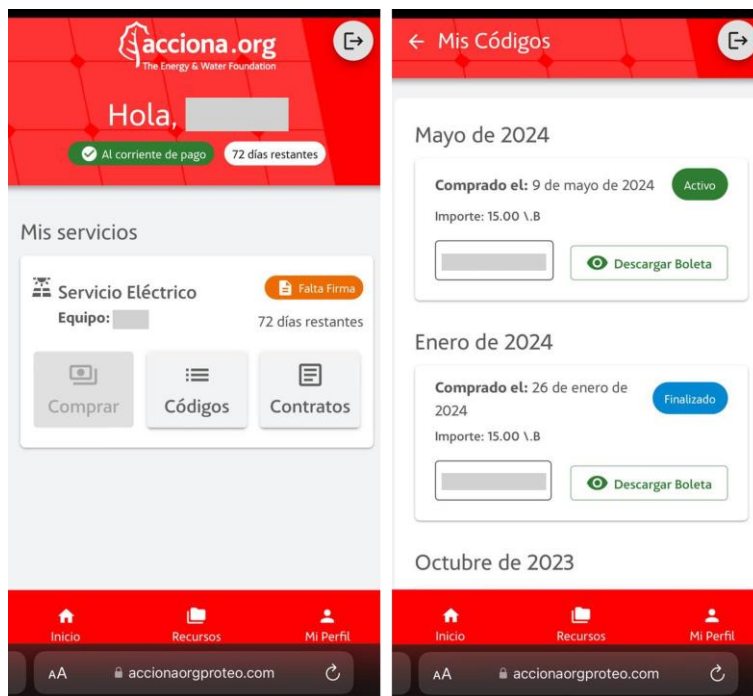


Figura 3.8: “Portal de Cliente”. Fuente: Proteo

3.4.3. IMPACTO SOCIOECONÓMICO DE PROTEO

La implementación de Proteo ha supuesto una transformación fundamental en la gestión de los proyectos de Acciona Microenergía. La digitalización de los procesos ha permitido una administración más fluida y eficaz del registro de clientes, pagos y activación de equipos; potenciando así la capacidad para llevar energía a zonas rurales que históricamente han carecido de acceso a servicios básicos universales. Esta iniciativa refleja el compromiso continuo de la Fundación cciona.org con la electrificación rural, fortaleciendo la capacidad para impactar positivamente en las comunidades más vulnerables y contribuir al desarrollo sostenible global.

4. DESARROLLO

Adaptar los sistemas de información CRM-ERP al nivel tecnológico de los gestores en zonas rurales de países en desarrollo es un paso clave para asegurar el éxito y la sostenibilidad de los proyectos de electrificación de Acciona.org.

En el capítulo anterior se han revisado las áreas, principalmente CRM, que Proteo ya tiene implementadas: Clientes, Ventas e Inventario. Por lo tanto, este capítulo se centra en el diseño y desarrollo de nuevos módulos ERP para ampliar las funcionalidades de la herramienta.

Estos módulos pertenecen a las áreas comerciales de Operaciones y Mantenimiento (O&M) y Adquisición a Proveedores; para mejorar el seguimiento de los equipos, reducir costes y facilitar la trazabilidad.

En primer lugar, se expone la metodología que se ha llevado a cabo y el cronograma seguido. A continuación, se profundiza en el diseño de cada módulo y se revisan las adaptaciones que se realizaron para implantarlos en la herramienta.

Finalmente, se incluyen las pruebas de aceptación de usuario (UAT) que los gestores deben completar, y se proponen indicadores de desempeño (KPIs) para completar el cuadro de mando BI.

4.1. METODOLOGÍA

En el ámbito de la gestión de proyectos tecnológicos es fundamental elaborar una metodología clara para garantizar la eficiencia y el éxito del trabajo. La definición de un enfoque sistemático es aún más necesaria cuando se considera la complejidad de los sistemas CRM-ERP, puesto que involucran procesos de negocio de alto nivel.

En este proyecto se ha seguido la siguiente metodología, ya que facilita la gestión eficiente de recursos, reduce los tiempos y los costes; además de promover la comunicación entre equipos y partes interesadas.

1. Documentación de las actividades realizadas en campo y definición de requisitos.

El equipo de Acciona.org Madrid, en colaboración con los administradores de Oficina, se traslada a las zonas de actuación y recoge información detallada sobre las actividades realizadas por los clientes, emprendedores y el personal técnico vinculado. Se definen los requisitos de los usuarios y se representan los procesos de negocio manuales, identificando los problemas. Esto servirá como base para el diseño del nuevo módulo.

2. Diseño y validación de los procesos de negocio digitalizados.

La UPM recibe los procesos de negocio manuales y los analiza para diseñar sus equivalentes digitales, según el estándar BPMN (*Business Process Model and Notation*). Estos diagramas son validados por Acciona.org para asegurar que están alineados con las necesidades y objetivos del proyecto.

3. Desarrollo *full-stack* del módulo.

Se desarrolla el *back-end* y el *front-end* del módulo, priorizando que la web sea altamente intuitiva. De esta forma se garantiza una experiencia de usuario accesible, con procesos sencillos.

4. Pruebas de funcionamiento y usabilidad.

Se realiza el análisis de control de calidad (QA) y se establece un entorno de prueba para que los gestores con roles administrativos accedan, verifiquen el funcionamiento y detecten posibles errores o realicen sugerencias. Las pruebas de aceptación de usuario (UAT) permiten una evaluación exhaustiva del módulo antes de su subida definitiva, proporcionando la oportunidad de realizar los ajustes necesarios en base a los comentarios recibidos.

5. Implantación del módulo y formación de los gestores.

Una vez que se han corregido los errores y el módulo ha pasado con éxito las pruebas en beta, se implementa en la herramienta. A continuación, se forma a los gestores y usuarios finales sobre cómo utilizar el nuevo módulo de manera efectiva, asegurándose de que estén completamente preparados para su uso continuo.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En grandes rasgos, este proyecto busca la ampliación de una herramienta CRM-ERP con nuevos módulos de O&M y Adquisición a proveedores. No obstante, se van a especificar los objetivos concretos de cada diseño, cuya consecución será revisada en las pruebas UAT y descrita en las conclusiones de este documento.

Así, los objetivos del módulo ‘Operaciones y Mantenimiento’:

1. Establecer una trazabilidad detallada de los equipos utilizados en los proyectos, permitiendo el seguimiento preciso de su ubicación y el historial de uso a lo largo de su vida útil. Esto garantizará un control eficiente del stock y una optimización de los recursos disponibles.
2. Implementar un sistema de gestión de averías que fomente la reparación y el mantenimiento preventivo de los equipos, priorizando estas acciones sobre la sustitución. Esto no solo reducirá los costes asociados a la renovación de equipos, sino que también promoverá prácticas sostenibles y respetuosas con el medioambiente.
3. Mejorar la eficiencia operativa mediante la automatización de procesos relacionados con la gestión de stock y la resolución de averías, reduciendo el tiempo de inactividad de los equipos y garantizando un suministro continuo de energía a las comunidades rurales.
4. Facilitar la toma de decisiones mediante la generación de reportes y análisis de datos sobre el estado y rendimiento de los equipos.

Por su parte, los objetivos de ‘Adquisición’ a proveedores:

1. Desarrollar un sistema de control para los dispositivos adquiridos, permitiendo el seguimiento detallado de los equipos desde su adquisición hasta su distribución.

2. Realizar pruebas de recepción para verificar el correcto funcionamiento de los equipos recibidos de los proveedores, garantizando su calidad original.
3. Registrar el valor económico de los dispositivos adquiridos para optimizar la información de los reportes financieros. Esto facilitará la contabilidad de los proyectos y proporcionará un análisis detallado sobre los costes de adquisición y el rendimiento de los proveedores.

4.3. CRONOGRAMA

		nov-23	dic-23	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	may-24	jun-24	jul-24
1	Traslado a la zona de actuación y recogida de datos									
1.1	Inspección de la zona y las limitaciones, contacto con los gestores locales									
1.2	Recogida de datos, requisitos específicos y representación de procesos manuales									
2	Módulo Adquisiciones									
2.1	Diseño de procesos digitales y validación de todas las partes									
2.2	Adaptación a Proteo y diseño de vistas									
2.3	Implementación en entorno de pruebas									
3	Módulo Stock									
3.1	Diseño de procesos digitales y validación de todas las partes									
3.2	Adaptación a Proteo y diseño de vistas									
3.3	Correcciones de diseño y desarrollo ful-stack									
3.4	Implementación en entorno de pruebas									
4	Módulo Averías									
4.1	Diseño de procesos digitales y validación de todas las partes									
4.2	Adaptación a Proteo y diseño de vistas									
4.3	Correcciones de diseño y desarrollo ful-stack									
4.4	Implementación en entorno de pruebas									
5	Testeo y pruebas UAT									
5.1	Creación de manuales de usuario para los gestores									
5.2	Definición de pruebas UAT									
5.3	Acceso y realización de pruebas en el entorno pre-producción, análisis de resultados, corrección de errores y revisión de sugerencias									

Figura 4.1: "Cronograma"

4.4. DISEÑO Y DESARROLLO

Este apartado contiene el núcleo de este Trabajo Fin de Grado, que es el desarrollo u optimización de los módulos ERP en Proteo, el sistema de información de Acciona.org para la gestión de proyectos de electrificación rural.

El proceso de diseño y desarrollo de los módulos se va a exponer individualmente, puesto que es importante mostrar las fases de la metodología por las que se ha pasado cada uno de ellos.

4.4.1. CONSIDERACIONES INICIALES

Para mejorar la usabilidad de Proteo se ha decidido traducir los nombres de los nuevos módulos. A partir de ahora, el módulo de Operaciones y Mantenimiento se divide en dos: 'Stock' y 'Averías'; y el de Adquisición a proveedores será conocido como 'Adquisiciones'.

4.4.2. STOCK

En el segundo capítulo de este trabajo se reconoció la importancia de una buena gestión de los activos para el éxito de cualquier empresa. Esto es un reto en los países en desarrollo debido a la operativa manual que impera, por lo que es importante diseñar un módulo adaptado a la capacidad tecnológica de los usuarios, que facilite el control de stock y permita un seguimiento de los movimientos de los equipos.

La versión actual de Proteo ya cuenta con un módulo Inventario donde la unidad mínima es el 'Equipo' (figura 4.2), identificado por un número único. El cliente que accede al servicio tiene un equipo asociado; y a esta relación entre usuario y dispositivo se la conoce como 'Suministro'.

Actualmente, un equipo es un conjunto de objetos necesarios para el servicio eléctrico, que se entrega como una unidad completa para proporcionar energía a los clientes. Este equipo está destinado a ser instalado en los hogares, e incluye todo lo necesario para el funcionamiento del sistema fotovoltaico domiciliario (SFD), como paneles solares, baterías, cables, conectores y otros dispositivos. Según este modelo, los objetos incluidos en el equipo no se consideran como unidades independientes, lo que genera confusión y dificulta la trazabilidad.

El diseño del nuevo módulo de stock exige cambiar la unidad mínima a 'Componente' o 'Ítem' (figura 4.2). A diferencia del equipo, estos serán objetos individualizados, con campos diferentes y trazabilidad propia, para controlar por separado a todos los objetos que forman parte de un determinado suministro.

Los componentes son objetos imprescindibles para el servicio eléctrico, por lo que serán identificados mediante su número de serie único. Los tipos de componente son: PCBA, lámparas, paneles solares, baterías y artefactos; y existirán distintos modelos en función de las características técnicas de cada uno; con la particularidad de que, si se trata de un modelo generador, éste tendrá campos propios especiales.

Por ejemplo, del tipo *panel solar* existen distintos modelos según el tamaño del módulo fotovoltaico, potencia máxima, etc. Los componentes de tipo *artefacto* son objetos no esenciales, pero con un valor económico significativo. Es el caso de las radios o frigoríficos, que en ciertos países también se ofrecen junto con el alquiler del SFD3G.

Por otro lado, los ítems son objetos secundarios, de menor precio, cuya trazabilidad no es tan estricta. No están identificados individualmente, por lo que solo importa la cantidad de unidades disponibles.

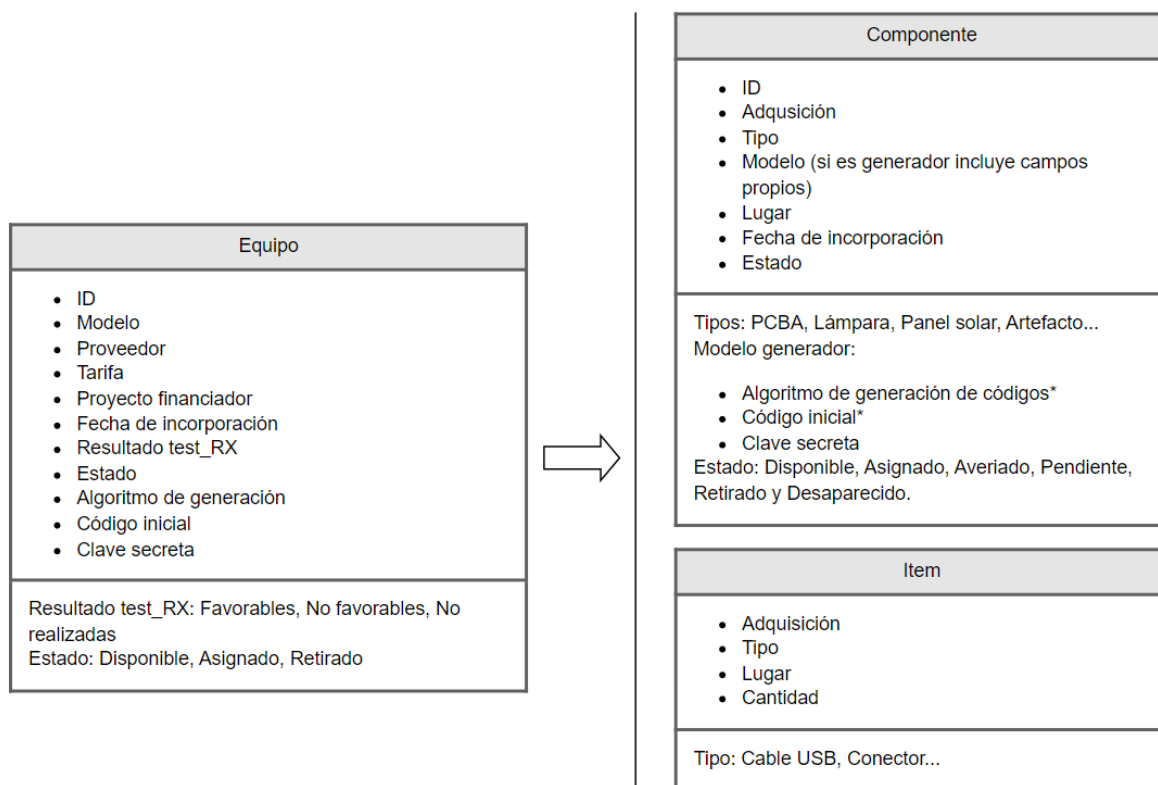


Figura 4.2: “Diagrama UML de los objetos en Stock”

La unidad entregada al cliente para el suministro eléctrico está conformada por componentes e ítems que operan por separado. No obstante, se detectó que la distribución por objetos individuales no es efectiva, por lo que surge la necesidad de crear una unidad integradora a la que se llama ‘Kit’ (figura 4.3).

Un kit es un grupo de objetos que durante un periodo de tiempo transitorio conforman una unidad. Es decir, en el almacén se empaquetan componentes e ítems que se distribuyen en conjunto, pero que se disuelven al llegar al hogar de destino. De esta forma, el cliente tiene en su propiedad una lista de objetos independientes, fácilmente modificable en caso de avería o ampliación del servicio.

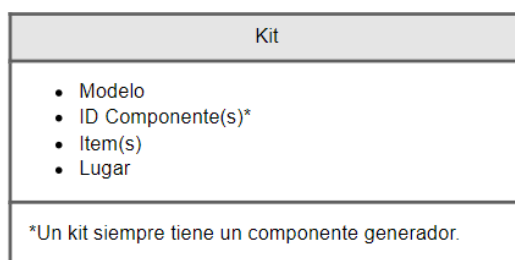


Figura 4.3: “Diagrama UML de Kit”

Los gestores pueden crear diferentes modelos de kit según los objetos que incluyan; sin embargo, es un concepto muy abierto, puesto que no es necesario añadir desde un inicio los componentes e ítems predefinidos, a excepción de un componente generador que debe estar presente siempre. Además, la lista de objetos en el kit siempre es modificable en el futuro, sin cota superior de objetos ni restricciones por tipo de modelo.

Por otro lado, para controlar el movimiento de los componentes, el diseño del nuevo módulo plantea la definición un nuevo objeto ‘Lugar’ (figura 4.4) que localice los objetos en espacios físicos reales. Los lugares propuestos por defecto son: Cliente(i), CLC(i), Oficina, Almacén(i), Desconocido y Cementerio.

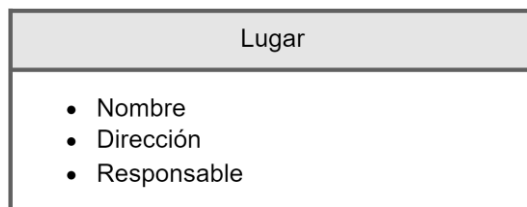


Figura 4.4: “Diagrama UML de Lugar”

Teniendo en cuenta todas estas configuraciones previas se propuso una primera versión del proceso de negocio BPMN (Anexo A.1.); no obstante, se detectaron ciertas limitaciones que dificultaban la operativa.

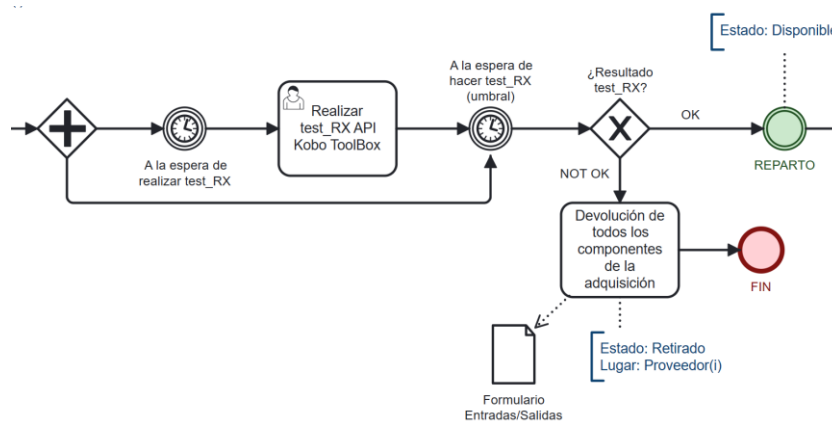


Figura 4.5: “Segmento test_RX en la primera versión del BPMN Componente”. Elaboración propia.

En primer lugar, se planteó utilizar la API de Kobo Toolbox para realizar las pruebas de recepción. Kobo Toolbox es una herramienta de código abierto para la recolección y visualización de datos en contextos de acción humanitaria. Además, cuenta con la ventaja de que es operativo sin conexión a Internet, puesto que almacena la información registrada en campo hasta conectarse a una red.

De esta forma, las pruebas de recepción serían externas al proceso y se realizarían obligatoriamente sobre el número de componentes que indicara el umbral de garantía. En Proteo se automatizaría la lectura del resultado de las pruebas, y si éste fuera favorable (OK), el estado de todos los componentes de la adquisición pasaría de ‘Recibido’ a ‘Disponible’.

No obstante, se decidió evitar la obligación a realizar estas pruebas, debido a las limitaciones operativas. En el proceso final de Componente (Anexo A.2.), el resultado de los test_RX se guardan de forma manual por los gestores en el módulo Adquisiciones para su

trazabilidad, pero los componentes aparecen en Stock como ‘Disponibles’ desde el momento de la recepción.

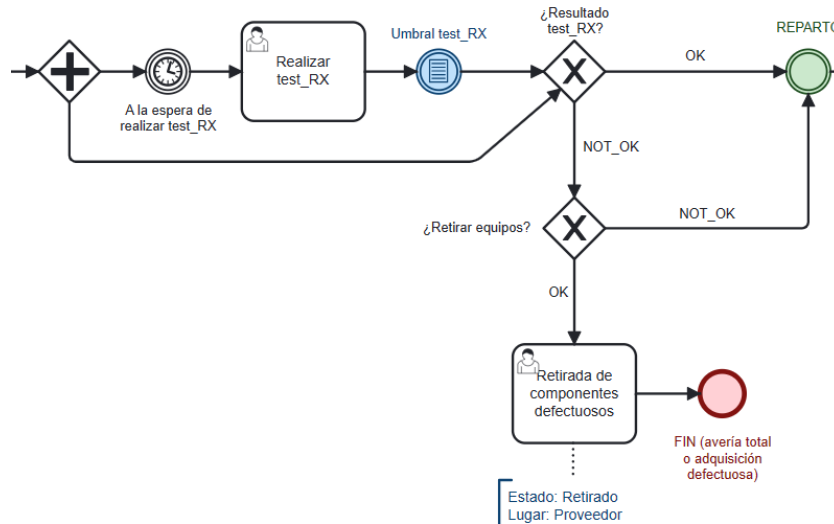


Figura 4.6: “Segmento test_RX en el BPMN definitivo de Componente”. Elaboración propia

De manera análoga, se propuso registrar el traslado de componentes entre lugares mediante un formulario de entradas/salidas en Kobo. Esto enseguida fue descartado por el equipo de desarrollo de la UPM, puesto que el registro de movimientos de los componentes es *core* en el control de Stock y se debe ejecutar de forma interna, con conexión estable a Internet. Esto se corrigió fácilmente con la creación de los lugares, puesto que cambian automáticamente si los gestores de Proteo modifican el estado del componente o realizan un movimiento. Además, se ha añadido la funcionalidad ‘Trasladar’ (botón de acción azul en la figura 4.8), que registra en la base de datos el desplazamiento físico de los componentes.

Más tarde, en el diseño del módulo ‘Averías’ se analizará el cambio de los procesos Incidencia y Avería. No obstante, es importante resaltar que, seguido al cierre de una avería, en el módulo Stock se modificará el estado del componente desde ‘Averiado’ a ‘Disponible’ o a ‘Retirado’, en función del resultado de las pruebas de supervisión. Si éste es favorable, el componente vuelve a estar en reparto, pero si es desfavorable se envía al cementerio de dispositivos, para ser reciclado o destruido.

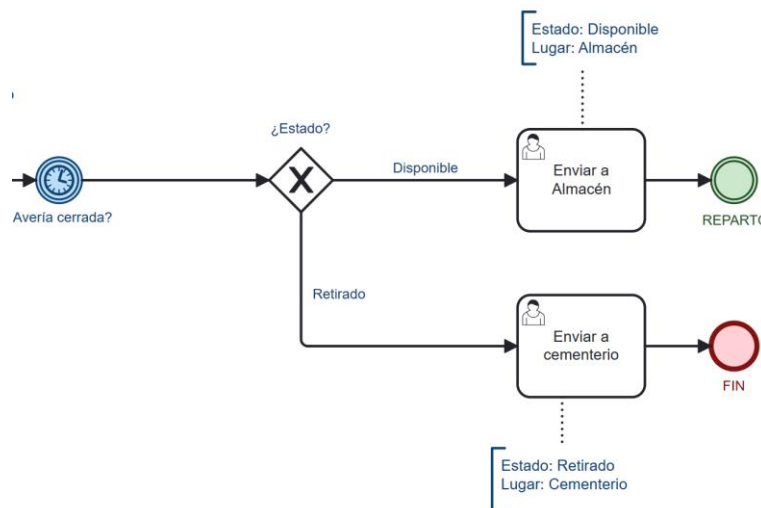


Figura 4.7: “Segmento de realimentación en el BPMN definitivo de Componente”. Elaboración propia

La vista definitiva del módulo Stock en Proteo muestra la información tabulada de los componentes, ítems y kits.

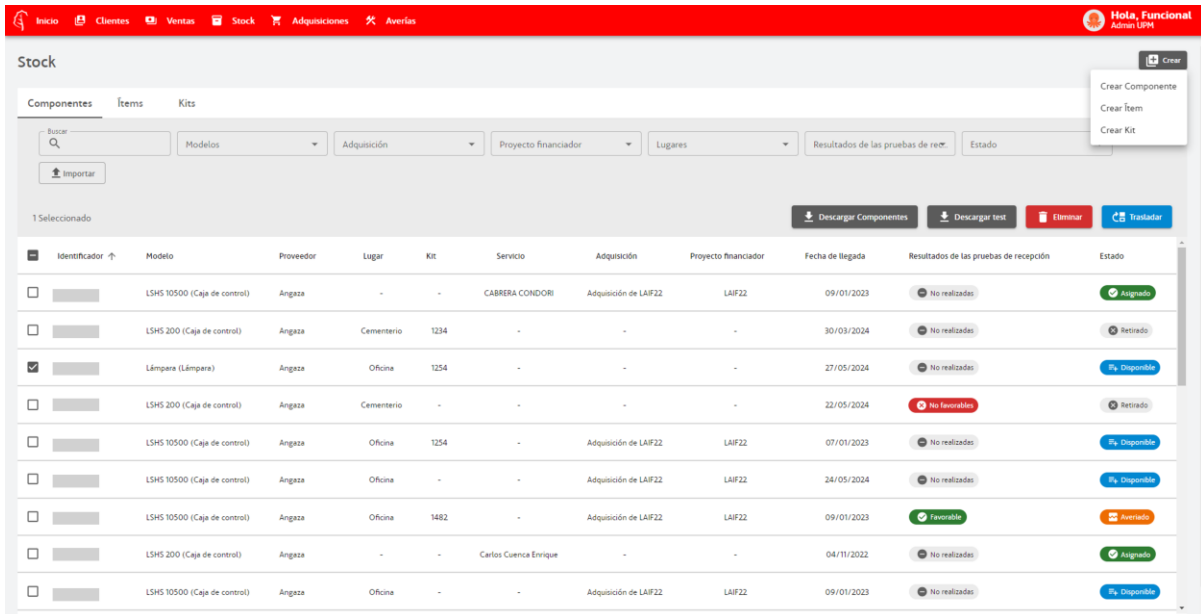


Figura 4.8: "Vista Stock -> Componentes"

La figura 4.8 muestra la pestaña de componentes en la vista de 'Stock'. El diseño es intuitivo, con campos organizados y con una clasificación de colores, para su correcta y rápida comprensión. Se incluye la búsqueda alfanumérica, junto con seis filtros, para agilizar la operativa y dos botones de acción constantes, 'Crear' e 'Importar', cuyos casos de uso se explican en los Anexos B.1.1 y B.1.2 respectivamente.

Si se selecciona algún componente en la tabla, aparecen cuatro botones relativos a acciones fundamentales del control de inventario.

- **Trasladar:** registra en la base de datos el desplazamiento de un componente desde un lugar a otro. Para el caso concreto de traslado de ítems, se solicitará la cantidad que se desplaza.
- **Eliminar:** borra un componente de la base de datos (Anexo B.1.3).
- **Descargar Pruebas:** se genera automáticamente un reporte en formato Excel que muestra los resultados de las pruebas de recepción.
- **Descargar Componentes:** se genera automáticamente un reporte en formato Excel que muestra los componentes y su ubicación actual. No obstante, para ver todos los movimientos previos se debe acceder a la vista individual de cada objeto, donde aparecerá la tabla con el histórico de orígenes y destinos (Anexo B.1.4)

» Historial

Origen	Destino	Fecha
Oficina (Lugar)	Oficina (Lugar)	07/05/2024
Oficina (Lugar)	APAZA HUILLCA [22] (Servicio)	10/07/2023
Creado	Oficina (Lugar)	09/01/2023

Files por página 5 1-3 of 3 |< < > >|

Figura 4.9: "Sección 'Historial' de un componente"

Como se veía antes, en el nuevo modelo de gestión de inventario es importante la monitorización de componentes e ítems que pertenecen a un mismo kit. La creación y edición de kits es un proceso nuevo que permite modificar los objetos que contiene, teniendo como referencia la lista predefinida por el modelo de kit.

Editar Kit
×

Seleccione un lugar

Lugar
Oficina

Seleccione un modelo

Modelo de Kit
Mode...

Objetos del modelo Listado de los objetos que incluye el modelo de kit seleccionado

- LSHS 10500 (1)
- Lámpara 10W (3)
- Cable-USB C (3)

Categoría	Identificador	Cantidad de Items
Componente	Componente 1254	1
Componente	Componente LAMP-1234	3
Componente	Componente LAMP-5678	3
Ítem	Modelo de ítem Cable-USB C	2

+ Añadir nuevo objeto

Eliminar
Guardar

Figura 4.10: “Editar kit”

En el proceso de diseño se valoró la posibilidad de incluir la funcionalidad ‘Hacer inventario’. En un inicio, se planteó la existencia de un recuento rutinario y otro trimestral con carácter obligatorio. No obstante, en la recogida de datos en campo, Acciona.org detectó una fuerte tendencia a la operativa manual en esta área, por lo que se ha establecido un mecanismo híbrido para el control de inventario.

Según este modelo, los gestores y operarios de almacén deben descargar el listado de componentes, filtrado por tipo o modelo si se desea, y hacer un recuento a mano de los recursos. No obstante, se deben anotar los componentes ausentes para, más tarde, trasladarlos en Proteo desde el lugar de origen hasta ‘Desconocido’, que cambiará automáticamente el estado del componente a ‘Desaparecido’.

4.4.3. ADQUISICIONES

Se ha estudiado que el primer causante de problemas en la gestión de activos en los proyectos de Microenergía es la imprecisión de los plazos de entrega de material. Esto se debe a que la mayor parte de la infraestructura es importada, y existe una desconfianza generalizada en la calidad de los equipos recibidos. Por lo tanto, se pretende solucionar este problema monitorizando las compras, desde el pedido hasta la comprobación del correcto estado de los equipos recibidos.

Puesto que la compra a proveedores no estaba implementada en Proteo, su diseño parte de cero con la creación de un nuevo objeto ‘Adquisición’, caracterizado por un ID alfanumérico unívoco.

Una adquisición se define como la compra masiva de componentes e ítems para la explotación del servicio de electrificación rural, por lo que está asociada a un proveedor que impone costes y condiciones de garantía. Desde el momento del pedido, la adquisición puede pasar por varios estados; comienza siendo ‘Comprada’ hasta ser ‘Recibida’ pudiendo ser ‘Compensado’ si se demuestra que los componentes son defectuosos de fábrica y deben ser sustituidos por el proveedor.

Los campos y estados propios de una adquisición son:

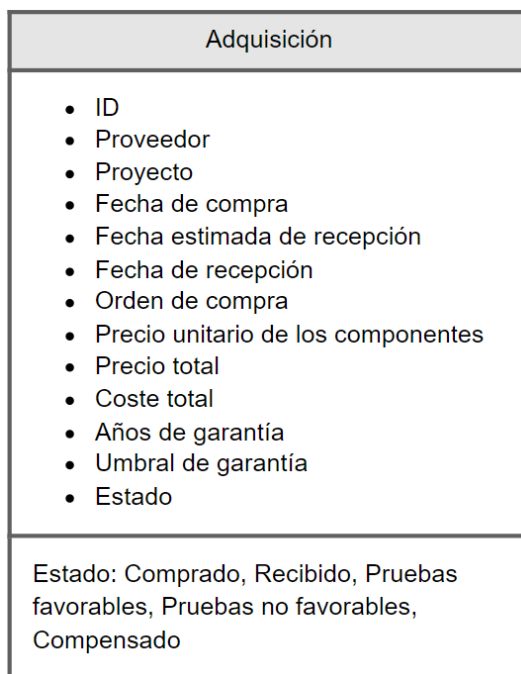


Figura 4.11: “Diagrama UML de Adquisición”

Es importante diferenciar los conceptos de coste y precio. El primero hace referencia al valor de mercado que tienen los componentes, mientras que el segundo es lo que abona Acciona.org por la adquisición. En el formulario de importación se registra el coste total y el precio unitario de los componentes; y Proteo genera automáticamente el precio completo de la compra.

Además, aunque los componentes se pueden comprar al proveedor individualmente o en kits, se comprobó con los datos previos de Acciona.org que un mismo objeto tiene el mismo precio independientemente de su empaquetado.

El diagrama BPMN del proceso es bastante sencillo y su versión inicial no sufre muchas modificaciones hasta ser aprobado.

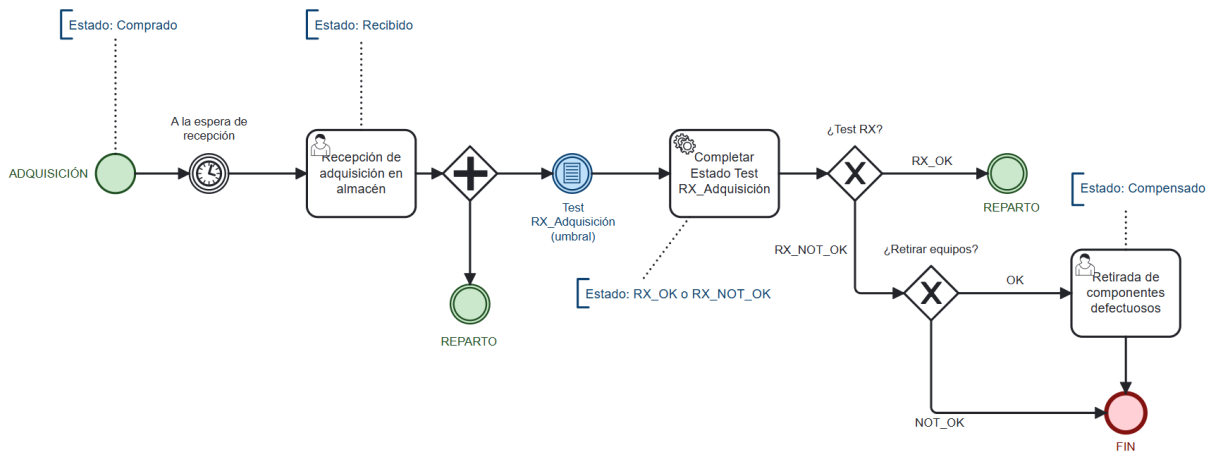


Figura 4.12: "BPMN definitivo de Adquisición"

Acciona.org estableció que al menos el 10% de los objetos recibidos deben tener un resultado favorable para definir una compra como 'Favorable' (umbral de garantía). Una vez ha llegado el pedido con los datos digitales de los componentes, estos se importan masivamente en Proteo. Como se ha explicado antes, en un primer momento se planteó la opción de exigir superar las pruebas de recepción para validar la adquisición. Sin embargo, esto se descartó y se diseñó una solución para considerar la adquisición 'Recibida' y todos los objetos asociados como 'Disponibles' automáticamente; permitiendo modificar el estado de la adquisición a 'Pruebas favorables' o 'Pruebas no favorables' manualmente más tarde.

Si se realizan las pruebas de recepción y no se supera el umbral de garantía, los roles administrativos podrán cambiar el estado de la Adquisición a 'Compensado', y así dejar registro de las fases por las que ha pasado la compra.

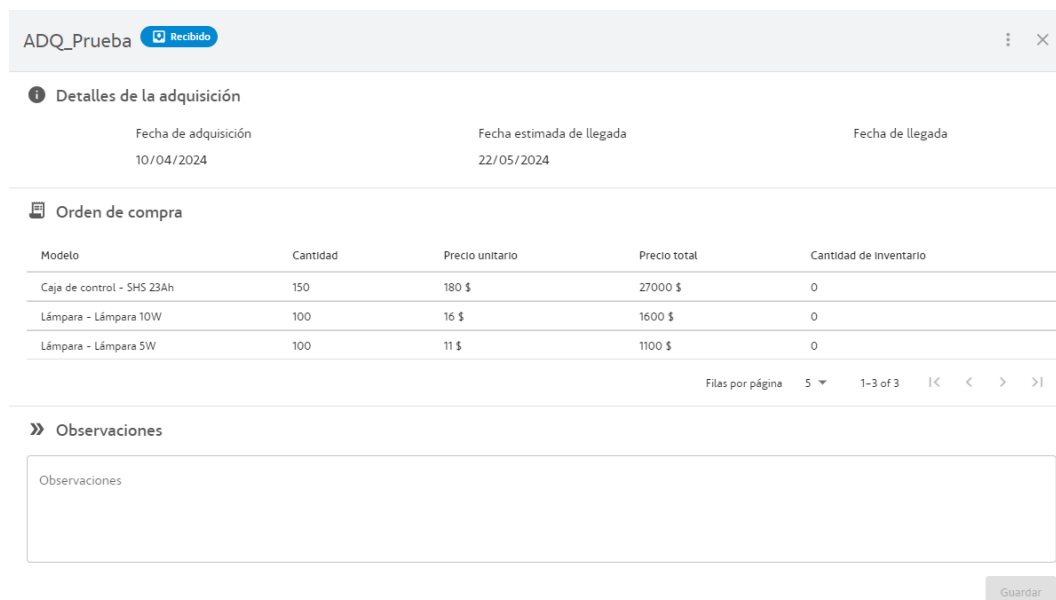
A nivel de *front-end*, Adquisición se crea como una nueva vista del menú en la barra superior, y se habilita exclusivamente para los roles de administración. La vista se ha diseñado como un repositorio de compras y ofrece la información relativa a cada una, de forma organizada y tabulada.

Para crear una adquisición (Anexo B.2.1) habrá que rellenar un formulario, donde se deben registrar todos los objetos del pedido (orden de compra). Se crea una fila por cada modelo de objeto, y se exige la cantidad y el precio unitario.

Figura 4.13: "Formulario orden de compra en Adquisición"

En la vista individual de cada adquisición se muestran los detalles del pedido, así como las fechas significativas, que son editables mediante un selector en forma de calendario. Para

cambiar el estado habrá que hacerlo desde los ajustes propios (tres puntos); permitiéndose añadir observaciones para el seguimiento de la adquisición.



ADQ_Prueba Recibido

Detalles de la adquisición

Fecha de adquisición	Fecha estimada de llegada	Fecha de llegada
10/04/2024	22/05/2024	

Orden de compra

Modelo	Cantidad	Precio unitario	Precio total	Cantidad de inventario
Caja de control - SHS 23Ah	150	180 \$	27000 \$	0
Lámpara - Lámpara 10W	100	16 \$	1600 \$	0
Lámpara - Lámpara 5W	100	11 \$	1100 \$	0

Filas por página 5 1-3 of 3

Observaciones

Observaciones

Guardar

Figura 4.14: "Vista individual de Adquisición"

Durante el desarrollo se detecta el problema de asignar los componentes obligatoriamente a una Adquisición, puesto que Proteo cuenta con miles de equipos previamente registrados. Se decide que, a nivel interno, el equipo de la UPM creará una adquisición genérica a la que se asociarán todos los componentes anteriores a este módulo.

En el Anexo B.2 se describen los casos de uso asociados a las funcionalidades del módulo de Adquisición.

4.4.4. AVERÍAS

La gestión de averías es un factor clave para cualquier servicio de alquiler de equipos, puesto que un correcto mantenimiento preventivo puede evitar costes elevados de sustitución.

Este módulo no está definido en Proteo, por lo que se ha desarrollado una nueva vista 'Averías' para controlar los componentes que necesiten reparación.

Inicialmente, Acciona.org detectó que la persona de referencia para el cliente es el emprendedor de su CLC. Por lo tanto, se decidió que las notificaciones de avería se crearan desde allí.

En la primera versión BPMN se decidió crear dos objetos: Incidencia y Avería (Anexo A.3). Según este modelo, cuando el cliente llegara al CLC para notificar un fallo, el emprendedor debería dar de alta la incidencia en Proteo, de forma que quedara registrada y fuera visible para los roles superiores. En el Centro de Luz en Casa (CLC), el empleado comprobaría visualmente el estado del componente y decidiría si puede arreglarlo, o si es incapaz de hacerlo y lo envía a Oficina.

Un componente con incidencia solo se podría arreglar en el propio CLC, por parte del emprendedor correspondiente, quien debe cerrar el proceso cuando se haya confirmado el correcto funcionamiento. Si no pudiera arreglar el componente en el establecimiento,

debería convertir la incidencia en avería, que pasa a ser responsabilidad de la Oficina. En caso de tener stock disponible en el CLC, Proteo notificaría la posibilidad de sustituir el objeto averiado y se podría entregar al cliente un nuevo componente.

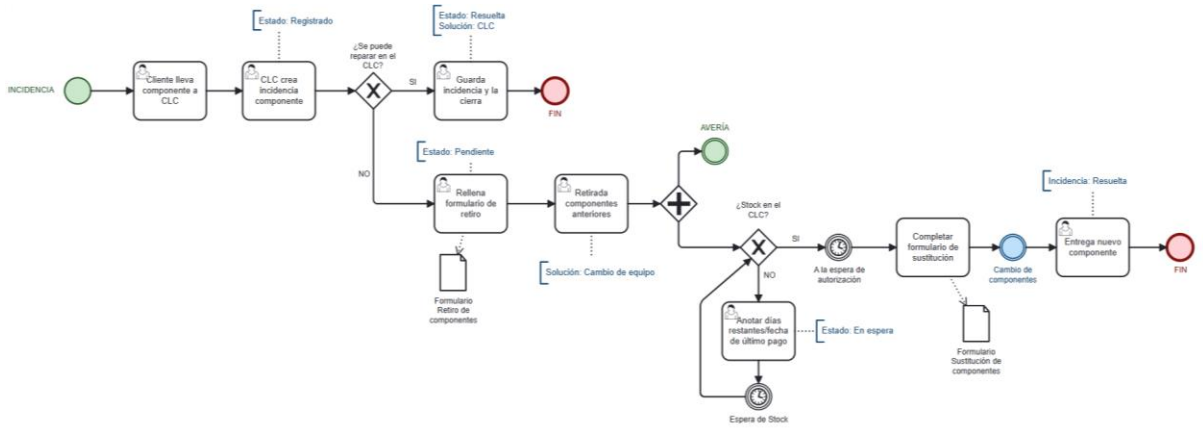


Figura 4.15: “Sección Incidencia en la primera versión de BPMN de Averías”. Elaboración propia

De nuevo, el desarrollo del módulo se vio limitado por el contexto de actuación. Debido a los problemas de conectividad, la reducida capacidad tecnológica y el carácter técnico de las averías, los procesos operativos para el mantenimiento deben ser sencillos y pautados. Entonces, se descartó la necesidad de registrar las incidencias, por lo que el módulo de Averías tendrá exclusivamente el objeto ‘Avería’, cuyos campos son:

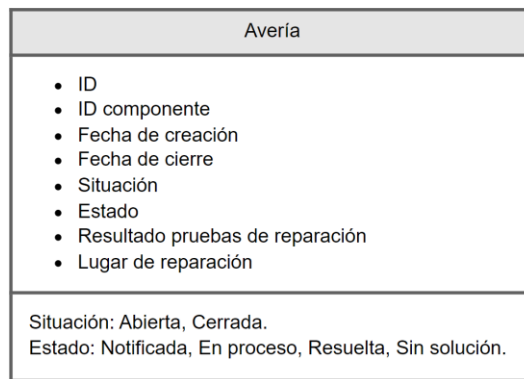


Figura 4.16: “Diagrama UML de Avería”. Elaboración propia

Un cliente acude al CLC para comunicar que un componente no funciona correctamente. El emprendedor del CLC intenta solucionarlo *in situ* y se presentan dos casos. En primer lugar, que pueda arreglarlo y el cliente regrese con su propio componente; hecho que no queda registrado en Proteo. O bien, que no pueda solucionar el fallo y notifique la avería en el sistema de información.

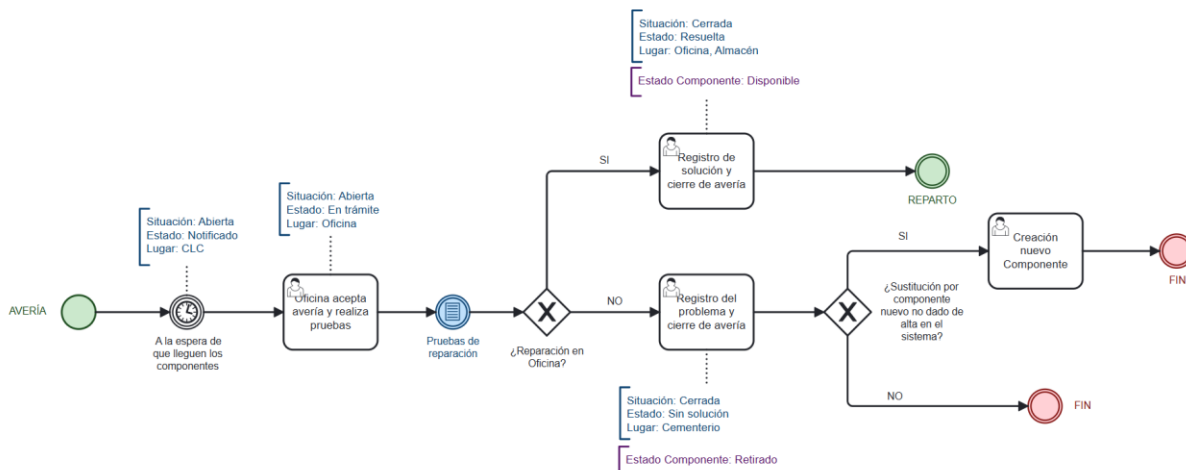


Figura 4.17: “BPMN definitivo de Avería”. Elaboración propia

Cuando Oficina recibe los componentes, cambia el estado de la avería en Proteo a ‘En trámite’. De esta forma, se sabe la fecha y el lugar donde se va a realizar la revisión y la reparación. Para llevar un registro completo, a parte del estado, se ha implementado el campo ‘Situación’, que diferencia las averías en función de si están ‘Cerradas’ o si siguen en trámite (‘Abiertas’).

Si el personal técnico de Oficina es capaz de arreglar los componentes, estos pasan a estar ‘Disponibles’ para reparto o reasignación al cliente anterior; y se cierra la avería con estado ‘Resuelta’. En caso de no poder repararlos, la avería se cierra con estado ‘Sin solución’ y los componentes se trasladan al lugar ‘Cementerio’.

Si el componente que ha fallado cumple las indicaciones de garantía definidas en la adquisición (años de garantía), el proveedor puede enviar un equipo de sustitución. Éste deberá darse de alta en Proteo según el mecanismo habitual, desde la vista de Stock.

Una vez que Acciona.org confirmó este proceso, desde la UPM se diseñó el *front-end* y se desarrolló el *back-end*.

Desde la vista individual de cliente, el emprendedor selecciona el objeto averiado y notifica el fallo. Automáticamente, el componente deja de estar asociado al cliente y en el módulo de Stock tiene estado ‘Averiado’ (Anexo B.3.1). Por otro lado, en la vista Averías aparece una nueva entrada en la tabla, con el ID correspondiente (figura 4.19). Además, para mejorar la calidad del mantenimiento, se debe registrar el error y la categoría en Proteo para facilitar la trazabilidad.

Notificar Avería
✕

Seleccionar Servicio*

Servicio
 LXS - 23450 [57]

Seleccionar Componente*

Componente
 23450

Selecciona un Error

Error
 Error de código

Selecciona una Categoría

Categoría de Error
 E-11: No genera

¿Desea retirar el componente? yes

Seleccione el lugar al que lo va a retirar*

Lugar
 Lugar

Cancelar Notificar

Figura 4.18: "Notificar avería->Tipo de error"

Además, si el componente averiado es generador, es muy importante que los emprendedores anoten en el campo de observaciones los días restantes del suministro pagado. Al ser un servicio prepago, cuando los clientes reciban un componente en correcto funcionamiento, se les garantizará un código de compensación sin coste, correspondiente a los días que han perdido por la avería.

Identificador	Componente	Fecha de notificación	endDate	Situación	Estado
9	6624	30/04/2024 09:33		Abierta	Notificado
8	6624	30/04/2024 09:33		Abierta	Notificado
7	6624	30/04/2024 09:33	28/05/2024 12:21	Cerrada	Resuelto
6	6624	30/04/2024 09:33	28/05/2024 12:20	Cerrada	Sin solución
5	6624	30/04/2024 09:33		Abierta	Notificado
4	6624	30/04/2024 09:32		Abierta	Notificado
3	6624	30/04/2024 09:32	28/05/2024 12:20	Cerrada	Sin solución
2	6624	30/04/2024 08:01		Abierta	En proceso
1	6624	30/04/2024 07:49	30/04/2024 07:58	Cerrada	Resuelto

Figura 4.19: "Vista Averías"

La vista de la figura 4.19 solo es visible a partir del rol de Oficina. Por lo tanto, las averías notificadas por los emprendedores deben ser aceptadas por un nivel superior, para pasar a estado 'En trámite'. Como se observa, se puede filtrar por situación y estado, y se representa tabulada la información más relevante. Desde esta página se pueden 'Crear' averías que comienzan directamente en estado 'En trámite'; y si se selecciona alguna fila de la tabla, aparece el botón 'Descargar averías' (Anexo B.3.2). Esto genera un documento Excel con los datos de las filas escogidas.

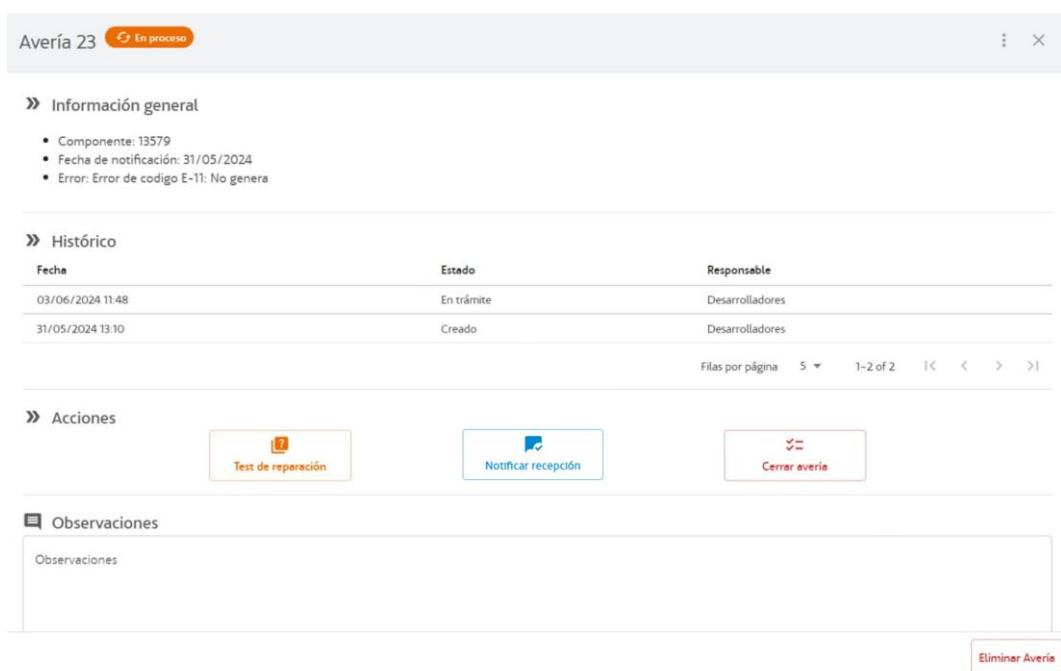


Figura 4.20: "Vista individual de avería"

Desde la ventana de la figura 4.20 se observan los detalles más importantes de una avería en concreto. Además, presenta botones de acción para rellenar el formulario de pruebas de reparación o 'Cerrar avería'. Cuando esto se realice, Proteo obligará a escoger el motivo de cierre, y, en función de esto, se asignará automáticamente el estado 'Resuelta' o 'Sin solución'.

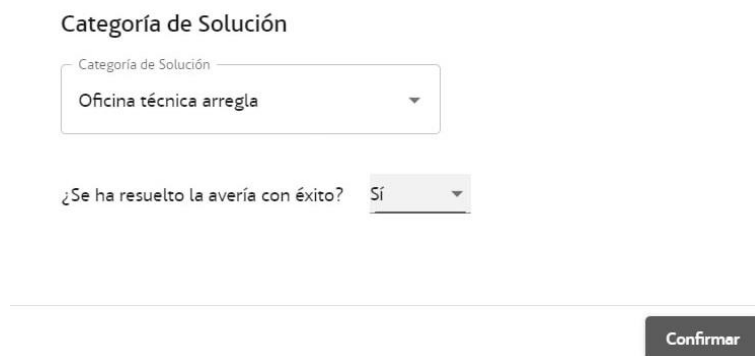


Figura 4.21: "Cerrar avería-> Tipo de solución"

4.5. PRUEBAS DE ACEPTACIÓN DE USUARIO (UAT)

Como se ha comentado en múltiples ocasiones anteriores, este trabajo no solo se centra en el diseño de módulos ERP para la gestión de proyectos de electrificación rural en países en desarrollo, sino que se esfuerza en adaptar la tecnología a las necesidades específicas de los usuarios. Con este propósito, se han diseñado vistas intuitivas, fáciles de comprender y con funcionalidades muy claras.

Para comprobar si se cumple el objetivo, se deben realizar pruebas de aceptación del usuario (UAT), que son cruciales en la validación del *software*.

Para ello, se entrega a cada gestor de Oficina un usuario y una contraseña; y se redacta un manual de uso.

4.5.1. PRUEBAS DEL MÓDULO STOCK

Se solicita al usuario que, tras acceder a Proteo, vaya al módulo Stock y realice las siguientes pruebas:

1º Creación de un componente generador.

Se pulsa el botón 'Crear' y se deben rellenar los campos obligatorios. Por las características del componente, se exigirá:

- Identificador GEN_PRUEBA1
- Algoritmo de generación de códigos, y se seleccionará por defecto el que aparece en el entorno de pruebas 'Zimpertec 9 dígitos'.
- Código de inicio, que será 12345.
- Clave secreta, que será: 12345.

Se debe pulsar el botón 'Guardar', y mediante la búsqueda por identificador de la vista Stock -> Componentes, se debe comprobar que el generador está registrado.

2º Descargar listado de componentes.

Con esto se simulará la actividad de hacer inventario en un lugar. Se debe filtrar en la vista Stock-> Componente, por el tipo 'Lámpara' y el modelo 'Lámpara – 5W'. Aparecerá el botón de acción 'Descargar Componentes'; cuando se pulse se debe comprobar que se descarga el Excel, con los campos de los objetos seleccionados.

3º Comprobar que un kit debe incluir siempre un componente generador.

El nuevo módulo ERP distribuye el equipamiento del suministro en kits. Estos son modificables en cualquier momento desde la vista individual de kit.

El gestor debe buscar en la vista Stock -> Kits, el ID PRUEBA_123. Desde los tres puntos de la esquina superior derecha, se debe pulsar en 'Editar kit' y se abre una tabla variable. Puesto que el kit ya está creado, se observan distintas filas de objetos y se solicita:

- Eliminar la fila del generador con ID 'GEN_KIT_1'.
- Pulsar el botón 'Guardar'.

Proteo debe devolver un error en color rojo para notificar que un kit no puede existir sin componente generador.

4.5.2. PRUEBAS DEL MÓDULO ADQUISICIÓN

Se solicita al usuario que, tras acceder a Proteo, realice las siguientes pruebas:

1º Crear una adquisición.

Antes de comenzar con la prueba, se debe comprobar en Configuración -> Modelos, que se dispone de los siguientes componentes: 'Generador Zimpertec', 'Lámpara – 5W' y 'Cable USB – C'.

A continuación, desde el módulo Adquisiciones, se debe pulsar el botón 'Crear' y se rellenan los campos propios, con ID de Adquisición 'ADQ_PRUEBA'. En la sección 'Orden de pedido' se deben añadir tres filas con la siguiente información.

Objeto	Tipo	Modelo	Cantidad	Precio unitario
Componente	Generador	Zimpertec	40	65 (\$)
Componente	Lámpara	5W	60	8 (\$)
Ítem	Cable	USB – C	60	5 (\$)

Se pulsa el botón 'Guardar' y se debe comprobar que la adquisición ADQ_PRUEBA aparece en la tabla, con estado 'Comprado'. Si se pulsa sobre ella, se abre la vista individual. Desde aquí, en los tres puntos de la esquina superior derecha se debe establecer la fecha estimada de recepción escogiendo un día futuro próximo.

2º Cambiar estado de la adquisición y solicitar compensación

Se va a simular la recepción de una compra con fallo de fábrica. Por lo tanto, desde Almacén se ha notificado que no se cumple el umbral de garantía y el gestor debe abrir la vista individual de una adquisición.

A continuación, se cambia el estado de la compra a 'Pruebas no favorables' y en la sección de 'Acciones' aparece el botón 'Solicitar Compensación'. Esto cambia el estado de nuevo a 'Compensado' y se registra la fecha del día en que se solicite. Simultáneamente, los componentes asociados en la vista Stock cambian su estado desde 'Disponibles' a 'Retirados'.

4.5.3. PRUEBAS DEL MÓDULO AVERÍAS

Se solicita al administrador de Oficina que, tras acceder a Proteo, realice la siguiente secuencia de pruebas, para comprobar el manejo de las averías a lo largo de todas sus fases.

1. Abra la vista individual del cliente 'Prueba UPM'.
2. En la sección de 'Acciones', pulse el botón 'Notificar avería' y nómbrala con ID AVERIA_PRUEBA.
3. Cuando se abra la lista de componentes asociados al suministro, seleccione aquel con el ID 'GEN_AVERIA'. Verá que este componente desaparece de la vista individual del cliente.
4. Vaya a la vista Stock -> Componente, busque el mismo ID 'GEN_AVERIA' y compruebe que tiene el estado 'Averiado'.
5. Vaya a la vista Avería, busque por el ID de la avería 'AVERIA_PRUEBA' y verá que la situación es 'Abierta', con estado 'Notificada'. Esto quiere decir que desde el CLC se ha registrado correctamente el fallo.
6. Desde los tres puntos de la esquina superior derecha de la vista individual, cambie el estado a 'En trámite'. Verá que la situación sigue siendo 'Abierta'.
7. Aparecerán varios botones de acción, pulse 'Pruebas de reparación' y verá que se abre un formulario técnico.
8. Pulse 'Cerrar avería' y le dejará elegir dos opciones 'Resuelta' o 'Sin solución'. Escoja la primera y verá que la situación cambia a 'Cerrada'.
9. Vuelva a la vista Stock -> Componente, busque el ID 'GEN_AVERIA' y verá que su estado ahora es 'Disponible', puesto que ha realizado con éxito una simulación de reparación.

4.6. PROPUESTA DE NUEVOS INDICADORES PARA EL CUADRO DE MANDO BI EN PROTEO

En el tercer capítulo de este trabajo se mostró el cuadro de mando que Proteo muestra actualmente (figura 3.3.). Se trata de un panel de *Business Intelligence* (BI), desarrollado con Looker Studio, que muestra los datos de Proteo en gráficas muy visuales.

Puesto que el foco principal de Proteo estaba puesto en la relación con los clientes, la información que ahora refleja el cuadro de mando es exclusivamente del módulo CRM. Por lo tanto, en base al desarrollo de los módulos ERP realizado en este trabajo, se van a proponer indicadores de desempeño, que pueden ser interesantes para obtener una imagen general de las operaciones y el mantenimiento.

1. Stock por lugar

Como el cuadro de mando es dinámico, se propone añadir un desplegable con los lugares de almacenamiento en un país. Al escoger uno, se muestran los componentes e ítems disponibles en ese establecimiento. Esta información es importante para Oficina, puesto que se encarga de los traslados de componentes y de la distribución.

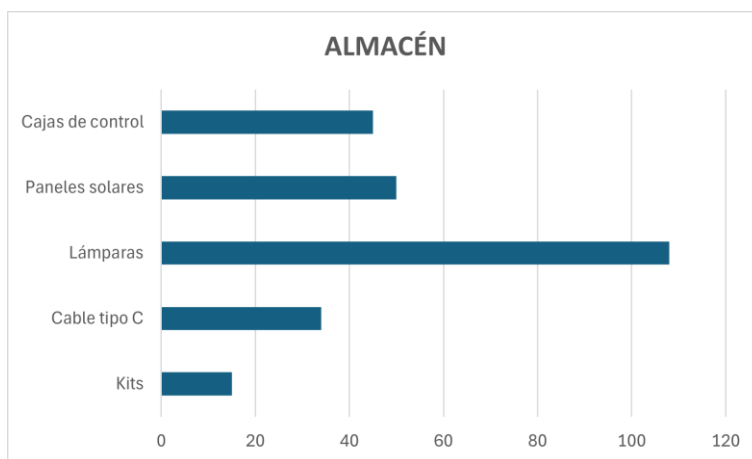


Figura 4.22: "Stock por lugar". Elaboración propia

2. Estado de los componentes por CLC.



Figura 4.23: "Componentes averiados por CLC". Elaboración propia

Representar el volumen de componentes en función del estado por CLC permite un control ágil del stock. Esto puede ser interesante para la Oficina, quien debe analizar y reportar el desarrollo del servicio en las comunidades. Además, permite identificar patrones de actividad, que pueden contribuir a reducir las pérdidas de tiempo y de recursos.

3. Situación de averías por CLC

Monitorizar la situación “Abierta” o “Cerrada” de las averías es especialmente útil para la Oficina, que debe gestionar las reparaciones. Esto ofrece información relevante para el modelo de mantenimiento preventivo, permitiendo ajustar los tiempos entre pruebas de supervisión.

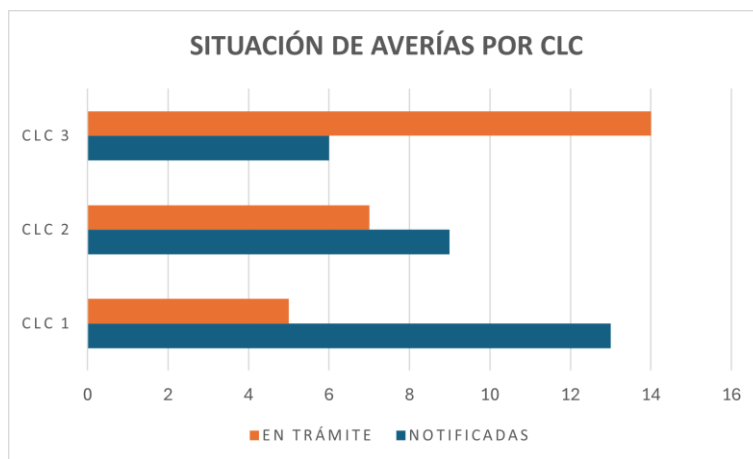


Figura 4.24: “Situación de averías por CLC”. Elaboración propia

4. Proveedores de adquisición

Esta gráfica es especialmente interesante para los administradores de país y de España, ya que son los responsables de las adquisiciones. Actualmente, los proyectos de Microenergía de Acciona.org tienen distintos proveedores en cada país, por lo que es interesante revisar el volumen de componentes de cada uno; y se puede usar para hacer un análisis de la calidad de los dispositivos comprados.

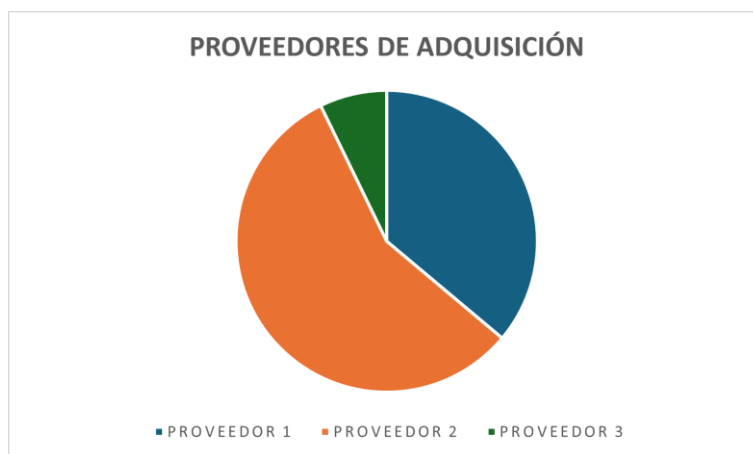


Figura 4.25: “Proveedores de adquisición”. Elaboración propia

5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

A continuación, se van a exponer las conclusiones y las líneas futuras de este Trabajo Fin de Grado.

5.1. CONCLUSIONES

Esta memoria recoge el diseño y desarrollo de tres módulos ERP adaptados para su uso en proyectos de electrificación rural en países en desarrollo por parte de Acciona.org. Esto no solo contribuye a la reducción de la pobreza energética, sino que busca cerrar la reciente brecha digital que desvincula aún más a las comunidades aisladas del progreso industrial y económico.

Las conclusiones que se extraen son:

- La sociedad debe esforzarse en construir un modelo de desarrollo sostenible que contemple simultáneamente los tres planos – medioambiental, social y económico –. Este debe promover el uso responsable de los recursos naturales, asegurar que todos los grupos sociales sean considerados y tratar de distribuir de manera equitativa el progreso económico, fomentando el crecimiento industrial sostenible en los países con menor desarrollo.
- El acceso a la energía limpia, y específicamente a la electricidad, es un servicio básico universal que debe ser suministrado a todas las personas, con especial atención a aquellas que viven alejadas de los núcleos urbanos. La transición energética hacia fuentes renovables es crucial para lograr un futuro sostenible, y se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 (ODS7) de las Naciones Unidas, que busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura y sostenible para todos.
- Los sistemas fotovoltaicos domiciliarios son una solución asequible, autoinstalable y eficaz para proporcionar acceso eléctrico a las comunidades aisladas. Los modelos de última generación incorporan microprocesadores que permiten su control remoto y abren nuevas oportunidades para la monitorización del consumo y el desarrollo de nuevos modelos de negocio.
- Los sistemas de información son herramientas esenciales para la digitalización de las empresas. Organizaciones como Acciona.org trabajan para adaptar las funcionalidades de estos sistemas a las particularidades de los proyectos de cooperación en contextos específicos, asegurando que las limitaciones locales sean consideradas y abordadas adecuadamente.
- La sostenibilidad económica, social y medioambiental de los proyectos de electrificación rural enfrenta varios retos, entre ellos el seguimiento del material importado, la gestión eficiente del inventario y el mantenimiento preventivo de los equipos. Estos elementos son cruciales para asegurar la viabilidad a largo plazo de las iniciativas, por lo que este proyecto ha identificado la necesidad de desarrollar tecnología adaptada para los procesos de Operación y Mantenimiento. A diferencia de los sistemas de información comerciales, que suelen centrarse en módulos CRM

para mejorar la relación entre proveedor y cliente, se han desarrollado tres módulos ERP específicos para la gestión de activos.

- La tecnología utilizada en estos proyectos debe estar adaptada y centrada en el usuario final. Es esencial definir procesos que sean similares a los manuales existentes, presentando interfaces digitales asequibles y fáciles de comprender. La implicación de personales locales es fundamental para el éxito de los proyectos, ya que su participación reduce la percepción de imposición externa y fomenta el sentido de propiedad y responsabilidad.

5.2. LÍNEAS FUTURAS

Tras haber completado el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado, se han logrado con éxito los objetivos planteados inicialmente; pero se han detectado nuevas vías de continuación del proyecto.

- **Desarrollo de nuevos indicadores de desempeño (KPIs).** Extensión de la propuesta reflejada en el apartado 4.6. del capítulo de Desarrollo.
- **Implementación de sistemas de monitorización en tiempo real.** Permitirán obtener información detallada y actualizada sobre el funcionamiento de los paneles solares fotovoltaicos, el estado de las baterías y el consumo de energía por parte de los usuarios. Con esta información, se podrán identificar rápidamente problemas técnicos, optimizar el mantenimiento preventivo y mejorar la eficiencia general del sistema.
- **Desarrollo de módulos CRM-ERP financieros adaptados.** Permitirán una integración fluida de las funciones de contabilidad, facturación y gestión de pagos, lo que optimizará los procesos financieros y reducirá los errores administrativos.
- **Creación de modelos predictivos.** Basados en algoritmos de aprendizaje automático y análisis de datos, permitirán predecir y prevenir fallos antes de que ocurran, reduciendo el tiempo de inactividad y los costes de mantenimiento. Además, la detección temprana de comportamientos irregulares de los clientes, como patrones de impago o cambios abruptos en el consumo de energía, permitirá tomar medidas para abordar problemas potenciales.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] The World Bank, “Global GDP over the long run.” Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/grapher/global-gdp-over-the-long-run>
- [2] L. Del Río Carazo, “Desarrollo de un modelo de gestión para proyectos de electrificación rural en países en desarrollo,” 2023.
- [3] M. Toman and B. Jemelkova, “Energy and Economic Development: An Assessment of the State of Knowledge,” 2003.
- [4] M. Flandreau, C. Galimard, C. Jobst, and P. Nogués-Marco, “Monetary geography before the Industrial Revolution,” *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, vol. 2, no. 2, pp. 149–171, Jul. 2009, doi: 10.1093/cjres/rsp009.
- [5] G. De and L. Lázaro, “La economía entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX,” *LII*, p. 359, 2019.
- [6] P. Friedlingstein *et al.*, “Global Carbon Budget 2023,” vol. 44, p. 15, 2023, doi: 10.5194/essd-2023-409.
- [7] C. Iheka, “Ecologies of Oil and Trauma of the Future in Curse of the Black Gold,” *Cambridge Journal of Postcolonial Literary Inquiry*, vol. 7, no. 1, pp. 69–91, 2019, doi: 10.1017/pli.2019.29.
- [8] NAKASAWA, “El petróleo y su rol determinante en la economía mundial.” Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://innovamas.nakasawaresources.com/el-petroleo-y-su-rol-determinante-en-la-economia-mundial/>
- [9] S. Tiba, “The Oil Abundance and Oil Dependence Scenarios: the Bad and the Ugly?,” 2020, doi: 10.1007/s10666-020-09737-3/Published.
- [10] Jeffrey Sachs, *The Age of Sustainable Development*. 2015.
- [11] The World Bank, “World Bank Country and Lending Groups.” Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups>
- [12] The World Bank, “The World by Income and Region.” Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/the-world-by-income-and-region.html>
- [13] B. Warf, “Teaching Digital Divides,” *Journal of Geography*, vol. 118, no. 2, pp. 77–87, Mar. 2019, doi: 10.1080/00221341.2018.1518990.
- [14] G. Whiteman, B. Walker, and P. Perego, “Planetary Boundaries: Ecological Foundations for Corporate Sustainability,” *Journal of Management Studies*, vol. 50, no. 2, pp. 307–336, 2013, doi: 10.1111/j.1467-6486.2012.01073.x.
- [15] E. de Jong and M. J. Vijge, “From Millennium to Sustainable Development Goals: Evolving discourses and their reflection in policy coherence for development,” *Earth System Governance*, vol. 7, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.esg.2020.100087.

- [16] R. E. Kim, "Augment the SDG indicator framework," *Environ Sci Policy*, vol. 142, pp. 62–67, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.envsci.2023.02.004.
- [17] J. Song and C. H. Jang, "Unpacking the sustainable development goals (SDGs) interlinkages: A semantic network analysis of the SDGs targets," *Sustainable Development*, vol. 31, no. 4, pp. 2784–2796, Aug. 2023, doi: 10.1002/sd.2547.
- [18] M. Nilsson, D. Griggs, and M. Visbeck, *Map the interactions between Sustainable Development Goals*. in OECD-FAO Agricultural Outlook. OECD, 2016. doi: 10.1787/agr_outlook-2015-en.
- [19] Open Development Mekong, "SDG 7 Affordable and clean energy." Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://opendevelopmentmekong.net/topics/sdg7-affordable-and-clean-energy/>
- [20] International Renewable Energy Agency, *RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2022 2 RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2022*. 2023. [Online]. Available: www.irena.org
- [21] B. Batinge, J. K. Musango, and A. C. Brent, "Sustainable energy transition framework for unmet electricity markets," *Energy Policy*, vol. 129, pp. 1090–1099, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.enpol.2019.03.016.
- [22] The World Bank, "Acceso a la electricidad (% de población)," 2023, Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS?end=2021&start=1990&type=shaded&view=chart>
- [23] IEA, "SDG7: Data and Projections - Access to electricity." Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity>
- [24] C. M. Davison *et al.*, "Last mile research: a conceptual map," *Glob Health Action*, vol. 14, no. 1, 2021, doi: 10.1080/16549716.2021.1893026.
- [25] C. M. Haanyika, "Rural electrification policy and institutional linkages," *Energy Policy*, vol. 34, no. 17, pp. 2977–2993, Nov. 2006, doi: 10.1016/j.enpol.2005.05.008.
- [26] A. Williams, "Role of fossil fuels in electricity generation and their environmental impact," 1993.
- [27] L. Narvarte Fernández, "Hacia un Paradigma de Electrificación Rural Descentralizada con Sistemas Fotovoltaicos," 2001.
- [28] D. H. Spatti and L. H. B. Liboni, "Emerging Technologies for Renewable Energy Systems," in *Smart Cities Technologies*, InTech, 2016. doi: 10.5772/65207.
- [29] A. Hussain, V. H. Bui, and H. M. Kim, "Microgrids as a resilience resource and strategies used by microgrids for enhancing resilience," *Applied Energy*, vol. 240. Elsevier Ltd, pp. 56–72, Apr. 15, 2019. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.02.055.
- [30] G. Veilleux *et al.*, "Techno-economic analysis of microgrid projects for rural electrification: A systematic approach to the redesign of Koh Jik off-grid case study," *Energy for Sustainable Development*, vol. 54. Elsevier B.V., pp. 1–13, Feb. 01, 2020. doi: 10.1016/j.esd.2019.09.007.

-
- [31] M. de los Á. Pinto Calderón, “System for performance assessment of solar home systems,” *Ingeniería Solidaria*, vol. 17, no. 2, pp. 1–14, May 2021, doi: 10.16925/2357-6014.2021.02.01.
- [32] M. H. Fernandez-Fuentes, A. A. Eras-Almeida, and M. A. Egido-Aguilera, “Characterization of technological innovations in photovoltaic rural electrification, based on the experiences of Bolivia, Peru, and Argentina: Third generation solar home systems,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 6. MDPI AG, Mar. 02, 2021. doi: 10.3390/su13063032.
- [33] A. Chaurey, P. R. Krithika, D. Palit, S. Rakesh, and B. K. Sovacool, “New partnerships and business models for facilitating energy access,” *Energy Policy*, vol. 47, no. SUPPL.1, pp. 48–55, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2012.03.031.
- [34] D. Grosvenor and D. Barnes, “Energy-as-a-Service The lights are on. Is anyone home?,” 2019.
- [35] GridX, “Energy as a Service.” Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.gridx.ai/knowledge/energy-as-a-service>
- [36] R. Chaudhuri, C. Gathinji, G. Tayar, and E. Williams, “Global Banking & Securities Sustaining digital payments growth: Winning models in emerging markets,” 2022.
- [37] I. Sapuan and M. N. Abdullah, “Stand-alone Solar Monitoring System using Internet of Things for Fertigation System,” *Evolution in Electrical and Electronic Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 106–115, 2020, doi: 10.30880/eeee.2020.01.01.012.
- [38] K. C. Laudon and J. P. (Jane P. Laudon, *Management information systems : managing the digital firm*. 2014.
- [39] Salesfive, “Salesforce vs. SAP - the direct comparison.” Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.salesfive.com/en/salesforce-guide/salesforce-vs-sap/>
- [40] J. Arriola, “La tecnología adaptada: entre realidad y el deseo,” 1989.
- [41] Angaza, “Angaza: features.” Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.angaza.com/>
- [42] Solaris Offgrid, “PaygOps: Management Software to reach the last-mile,” 2024.
- [43] N. Renewable Energy Laboratory, S. National Laboratory, S. Alliance, and S. National Laboratory Multiyear Partnership, “Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems; 3rd Edition,” 2018. [Online]. Available: www.nrel.gov/publications.
- [44] P. C. L. Goonatilake, “Inventory Control Problems in Developing Countries,” *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 4, no. 4, pp. 57–64, Apr. 1984, doi: 10.1108/eb054726.
- [45] L. Yang, Q. Liu, T. Xia, C. Ye, and J. Li, “Preventive Maintenance Strategy Optimization in Manufacturing System Considering Energy Efficiency and Quality Cost,” *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 21, Nov. 2022, doi: 10.3390/en15218237.
- [46] E22, “Cómo optimizar el rendimiento de los sistemas de almacenamiento con un adecuado proceso de O&M.” Accessed: May 20, 2024. [Online]. Available:

<https://energystoragesolutions.com/es/mantenimiento-sistema-almacenamiento-energia-solar/>

- [47] Acciona.org, “Acciona.org ‘The Energy and Water Foundation,’” 2023, Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.acciona.org/es/>
- [48] J. Yang and J. Urpelainen, “Is coal-fired power generation associated with rural electrification? A global analysis,” *Energy Res Soc Sci*, vol. 58, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.erss.2019.101274.
- [49] Fundación Acciona.org, “Memoria Fundación acciona.org 2022,” 2022.
- [50] Zimpertec, “DC SHS 25-50 Solar Home System.” Accessed: May 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.zimpertec.com/DC-Solar-Home-Systems/DC-Solar-Home-System-SHS-320-Wh-640-Wh/>

8. ANEXO B: CASOS DE USO

ANEXO B.1. MÓDULO STOCK

ANEXO B.1.1 - CREAR OBJETO

Caso	Crear objeto (componente, ítem o kit)
Usuarios	Rol operativo: Almacén, Oficina País, Admin País Rol de administración: Admin Acciona, Admin UPM
Descripción	Se quiere registrar un único objeto en Proteo.
Vistas	Stock, formulario de creación.
Secuencia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se pulsa el botón 'Crear' y se abre un desplegable donde se elige el tipo de objeto. 2. Se rellena el formulario. 3. Se pulsa el botón de guardar y el objeto aparece en la lista.
Escenarios de error	<ul style="list-style-type: none"> • Si se intenta crear un <u>componente</u> con el mismo ID, modelo y tipo de otro previamente registrado. • Los roles operativos no pueden eliminar <u>componente</u>, solo "anular". Esta acción oculta el componente de la lista hasta que rol superior lo elimine. • Para poder crear <u>un kit</u> debe haber al menos un componente generador (algoritmo generador de tokens distinto de <i>null</i>).

ANEXO B.1.2 - IMPORTAR

Caso	Importar (componentes, ítems o kits)
Usuarios	Rol operativo: Oficina País, Admin País Rol de administración: Admin Acciona, Admin UPM
Descripción	Se quiere registrar de forma masiva los componentes, ítems o kits recibidos.
Vistas	Stock, formulario de importación.
Secuencia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se pulsa el botón 'Importar' y se abre un desplegable donde se elige el tipo de objeto. 2. El formulario de importación exige un documento Excel. Por defecto se escoge la segunda fila para comenzar la importación. 3. Proteo genera el mismo número de columnas que tiene el Excel y se debe seleccionar un campo asociado a cada una de ellas. 4. Se pulsa el botón 'Importar' y los objetos aparecen en las tablas correspondientes.
Escenarios de error	Si se incluye un componente con un ID y modelo ya registrado en Proteo, dará fallo si ya está asociado a un servicio; si no sobrescribirá al anterior.

ANEXO B.1.3 - ELIMINAR OBJETO

Caso	Eliminar objetos (componentes, ítems o kits)
Usuarios	Rol operativo: Oficina País, Admin País Rol de administración: Admin Acciona, Admin UPM
Descripción	Se quiere eliminar un objeto de la lista de Stock.
Vistas	Stock
Secuencia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se marcan las filas de los objetos que se quieren eliminar. 2. Automáticamente aparecen algunos botones de acción a la derecha, entre ellos 'Eliminar'. 3. Si se han seleccionado filas de ítems, antes de eliminar aparece un pop-up con un input para escribir la cantidad que se desea eliminar. 4. Se 'Acepta' la eliminación y se pulsa el botón 'Guardar'.
Escenarios de error	Los operarios de almacén no pueden eliminar componentes, por lo que no tendrán habilitada esta función.

ANEXO B.1.4 - DESCARGAR OBJETOS

Caso	Descargar listado de objetos
Usuarios	Rol operativo: Oficina País, Admin País Rol de administración: Admin Acciona, Admin UPM
Descripción	Se quiere descargar el listado de objetos.
Vistas	Stock
Secuencia	<ol style="list-style-type: none"> 1. En la vista de Stock se filtra por lugar, modelo y tipo. Se marcan los objetos que se quieren descargar. 2. Se pulsa el botón 'Descargar listado'. 3. Automáticamente se descarga un Excel con los datos de los objetos filtrados.
Escenarios de error	<p>Si no se filtra se descargarán todos los modelos de todos los tipos de objetos, en todo el país.</p> <p>Si se eligen distintos tipos y modelos, en el Excel aparecerán agrupados.</p>

ANEXO B.1.5 – EDITAR KIT

Caso	Añadir/eliminar objetos en un kit
Usuarios	Rol operativo: Almacén, Oficina País, Admin País Rol de administración: Admin Acciona, Admin UPM
Descripción	La lista de objetos en un kit es variable siempre que haya un componente generador. Por lo tanto, se pueden añadir y eliminar objetos.
Vistas	Formulario de edición de kits.
Secuencia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se selecciona un kit y en la vista individual, en la sección 'Acciones' se pulsa el botón 'Modificar objetos' y la tabla de componentes en el kit pasa a ser editable. 2. Se pueden añadir filas con campos rellenables (categoría, ID y cantidad de ítems) 3. Se pueden eliminar las filas de los objetos no deseados. 4. Se pulsa el botón Guardar.
Escenarios de error	Para poder crear un kit debe haber al menos un componente generador (algoritmo generador de tokens distinto de <i>null</i>).

ANEXO B.2. MÓDULO ADQUISICIONES

ANEXO B.2.1 - CREAR ADQUISICIÓN

Caso	Crear una adquisición
Actores	Rol operativo: Oficina País, Admin País Rol de administración: Admin Acciona, Admin UPM
Descripción	Se realiza una compra al proveedor y se quiere registrar en Proteo.
Vistas	Adquisición, pop-up formulario de registro.
Secuencia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hacer clic en el botón 'Crear compra'. 2. Rellenar los campos propios de una adquisición. 3. En la orden de pedido, registrar la cantidad, el tipo de objeto y el modelo; junto con el precio unitario. 4. Se pulsa el botón de guardar. 5. La adquisición aparece listada, con estado 'Comprado'.
Escenarios de error	Si se duplica el registro de una compra, se puede 'anular'. Anular no es eliminar, por lo que queda guardada la compra, pero no es vinculante. No hay opción de importar adquisiciones.

ANEXO B.2.2 - SOLICITAR COMPENSACIÓN

Caso	Solicitar compensación
Actores	Rol operativo: Oficina País, Admin País Rol de administración: Admin Acciona, Admin UPM
Descripción	Desde el almacén o la oficina se notifica que la compra no ha superado el umbral de dispositivos aptos para su distribución. Es decir, los resultados de las pruebas RX tienen estado 'No favorable'. Entonces, los roles con permiso podrán solicitar la compensación de la compra.
Vistas	Adquisición, vista individual de compra
Secuencia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se pulsa la fila de la compra con estado "Pruebas RX no favorables". 2. En la sección de Acciones de la vista individual aparece el botón 'Solicitar compensación' y se pulsa. Aparece un campo de texto 'Motivo de la compensación' obligatorio y se guarda, automáticamente se registra la fecha del día. 3. El estado de la compra pasa a ser 'Reclamado'.
Escenarios de error	

ANEXO B.2.3 - DESCARGAR ADQUISICIONES

Caso	Descargar reporte
Usuarios	Rol operativo: Oficina País, Admin País Rol de administración: Admin Acciona, Admin UPM
Descripción	Se quiere extraer el histórico de compras y la información individual de la herramienta Proteo.
Vistas	Adquisición
Secuencia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se selecciona una compra, o tantas como se desee, pulsando el marcador individual. 2. En cuanto se elige una, Proteo muestra dos botones 'Seleccionar todas', para marcar todas las compras; y 'Descargar reporte'. 3. Si se pulsa el botón para descargar reporte, un Excel con la información se genera y descarga en el dispositivo automáticamente.
Escenarios de error	

ANEXO B.3. MÓDULO AVERÍAS

ANEXO B.3.1 - NOTIFICAR AVERÍA DESDE VISTA INDIVIDUAL DE CLIENTE

Caso	Notificar avería desde vista individual de cliente
Actores	Rol operativo: Emprendedor, Oficina País
Descripción	Se quiere registrar una notificación de avería en Proteo, desde un CLC.
Vistas	Cientes, vista individual de cliente
Secuencia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Buscar por nombre del cliente en el módulo Clientes y pulsar sobre él. 2. Desde la vista individual, seleccionar la acción 'Notificar avería'. 3. En el formulario, completar el ID de la avería, introducir el identificador del componente averiado y rellenar el campo de observaciones con el motivo de fallo. 4. Pulsar el botón guardar. <p>Automáticamente, el componente deja de estar asociado al cliente y en el módulo de Stock tiene estado 'Averiado'. Igualmente, en el módulo de Averías aparece tabulado el ID correspondiente, con estado 'Notificado' hasta que Oficina lo cambie a 'En trámite'.</p>
Escenarios de error	Si el objeto averiado es un componente generador, se debe anotar en observaciones el número de días pendientes. Así se podrá generar un código de compensación con los días correspondientes.

ANEXO B.3.2 - DESCARGAR AVERÍAS

Caso	Descargar listado de averías
Usuarios	Rol operativo: Oficina País, Admin País Rol de administración: Admin Acciona, Admin UPM
Descripción	Se quiere descargar el listado de averías.
Vistas	Averías
Secuencia	<ol style="list-style-type: none"> 1. En la vista de Averías se filtra por situación o estado; y se marcan las filas que se quieren descargar. 2. Se pulsa el botón 'Descargar listado'. 3. Automáticamente se descarga un Excel con los datos de las averías filtrados.
Escenarios de error	Si no se filtra se descargarán todas las filas de la tabla. Si se eligen distintas situaciones y estados, en el Excel aparecerán agrupados.

9. ANEXO C: ASPECTOS ÉTICOS, ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES

C.1. IMPACTO SOCIAL

El proyecto tiene un enfoque claramente social, puesto que el objetivo final es proporcionar acceso a electricidad confiable y asequible en comunidades rurales de países en desarrollo. Este suministro es un bien básico universal que mejora la calidad de vida al permitir la iluminación de hogares, lo que facilita actividades educativas y recreativas después del anochecer. Además, el acceso a la electricidad permite la carga de dispositivos móviles, mejorando la comunicación y el acceso a la información, lo cual es crucial para el desarrollo personal y comunitario.

Además, la implementación de sistemas fotovoltaicos domiciliarios (SFD) con métodos de pago Pay-As-You-Go democratiza el acceso a la energía. Las familias que antes no podían permitirse una instalación solar ahora pueden hacerlo mediante pagos pequeños. Esto empodera a las comunidades al reducir la dependencia de fuentes de energía no sostenibles y costosas, mejorando así la seguridad y la salud al disminuir la exposición a gases tóxicos y contaminantes.

C.2. IMPACTO ECONÓMICO

Económicamente, el proyecto estimula el crecimiento local mediante la creación de empleos relacionados con la gestión del servicio y el mantenimiento de los sistemas solares. Esto incluye la formación de técnicos y el desarrollo de Centros de Luz en Casa, desde donde se generan los códigos de activación, fortaleciendo la economía local. Además, al reducir los costes energéticos para las familias, se liberan recursos que pueden ser utilizados en otras necesidades básicas, para frenar la pobreza en todas sus formas (ODS 1).

El acceso a energía fiable también impulsa el emprendimiento y el desarrollo de otros tipos de microempresas; como tiendas y talleres, que pueden operar más horas y con mayor eficiencia, aumentando su productividad e ingresos. Esto, a su vez, contribuye al desarrollo económico sostenible de la región, reduciendo la pobreza y mejorando la resiliencia económica de las comunidades rurales.

C.3 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Desde un punto de vista medioambiental, el uso de paneles solares fotovoltaicos reduce significativamente la dependencia de combustibles fósiles y la emisión de gases de efecto invernadero, alineándose con el séptimo Objetivo de Desarrollo Sostenible. Al optar por energías renovables, el proyecto contribuye a la transición energética y a la mitigación del cambio climático. Esto es especialmente importante en zonas que tradicionalmente dependen de fuentes de energía contaminantes como el queroseno o el diésel.

La integración de sistemas de gestión de averías y stock asegura un uso eficiente de los recursos y la minimización de desperdicios, promoviendo prácticas de mantenimiento preventivo que prolongan la vida útil de los equipos solares y reducen la generación de

residuos electrónicos. Esto contribuye a la sostenibilidad a largo plazo del proyecto y a la protección del entorno natural.

C.4 RESPONSABILIDAD ÉTICA Y PROFESIONAL

El proyecto asume una gran responsabilidad al trabajar con comunidades rurales, donde la confianza y la protección de datos son cruciales debido al escaso conocimiento de las nuevas tecnologías. Se garantiza la seguridad y confidencialidad de la información personal de los clientes mediante la implementación de protocolos robustos de protección de datos. Esto incluye el uso de sistemas encriptados, la formación del personal en prácticas seguras de manejo de información y la transparencia en las políticas de privacidad para asegurar a los usuarios que su información está protegida.

Por otro lado, aunque las tasas de servicio son bajas para facilitar el acceso a la electricidad, es fundamental establecer un precio justo que no solo permita a las familias acceder a la energía de manera asequible, sino que también asegure la sostenibilidad económica de la iniciativa. Este equilibrio garantiza la continuidad en la provisión de servicios de calidad y la expansión de la infraestructura para beneficiar a más comunidades en el futuro.

10. ANEXO D: PRESUPUESTO ECONÓMICO

COSTE DE MANO DE OBRA (coste directo)		Horas	Precio/hora	Total		
		315	25 €	7.875 €		
COSTE DE RECURSOS MATERIALES (coste directo)		Precio de compra	Uso en meses	Amortización (en años)	Total	
		Ordenador personal (Software incluido)	1.500,00 €	8	5	200,00 €
		iPad Air	699,00 €	8	5	93,20 €
		Otro equipamiento				
COSTE TOTAL DE RECURSOS MATERIALES					293,20 €	
GASTOS GENERALES (costes indirectos)		15%	sobre CD	894,48 €		
BENEFICIO INDUSTRIAL		6%	sobre CD+CI	411,46 €		
SUBTOTAL PRESUPUESTO				7.269,14 €		
IVA APLICABLE			21%	1.526,52 €		
TOTAL PRESUPUESTO				11.000,66 €		