

SMART FLEX CAMPUS



**Universidad Nacional de
Colombia Departamento de
Ingeniería Eléctrica y Electrónica**

CONTENIDO

1. Introducción.....	3
2. Antecedentes.....	3
3. Grupo de investigación EM&D.....	6
4. Alternativas.....	8
Centro de innovación energética.....	12
Bus eléctrico.....	17
Bicicletas eléctricas.....	18
Estación de recarga para vehículos eléctricos.....	19
Sistema de generación solar fotovoltaica.....	19
Sistema de almacenamiento con baterías.....	20
Centro de control.....	21
Medición inteligente.....	21
Comunicaciones.....	21
Eficiencia energética.....	22
Servidores.....	23
Transferencia de conocimiento en el Smart Flex Campus.....	23
Cronograma de ejecución.....	24
5. Resumen de beneficios del proyecto.....	25
6. Resumen de costos esperados.....	26
7. Referencias.....	27

1. Resumen

En este documento se describe la propuesta del “Smart Flex Campus”, un proyecto cuya misión principal es contribuir a la integración de las redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano. Con este se pretende convertir el campus de la Universidad Nacional en un laboratorio donde operen tecnologías de las redes inteligentes, al tiempo que se educa a la población sobre sus beneficios, en un centro de innovación energética donde sus visitantes interactúan con todas estas tecnologías y también se realiza investigación, innovación y educación sobre este tipo de sistemas.

2. Antecedentes

En la Universidad Nacional de Colombia se han implementado varios sistemas que utilizan tecnologías propias de las redes inteligentes, principalmente relacionadas con la generación fotovoltaica: En la facultad de medicina de la sede Bogotá se encuentra instalado un sistema de generación fotovoltaica con 220 paneles solares. Con este se reduce el gasto de consumo del edificio en hora pico entre un 30 y 50%. El sistema también cuenta con monitoreo y una estación meteorológica en línea [1].



Figura 1. Instalación fotovoltaica en el techo de la facultad de medicina de la Universidad Nacional sede Bogotá [1].

La sede Bogotá también cuenta con otro sistema fotovoltaico de 536 paneles con capacidad de 214,4 kWp ubicado en el edificio Manuel Ancizar y que anualmente reduce cerca de 532 toneladas las emisiones de CO₂ del campus [2], [3]

En el caso de la sede Manizales, se implementó en el año 2021 un sistema fotovoltaico que genera un aproximado de 14000 kWh mensualmente, lo cual corresponde a aproximadamente el 30% del consumo del campus. Esta solución fotovoltaica además se encuentra conectada a una subestación y entrega sus excedentes a la red de la central hidroeléctrica de Caldas [2].

También la sede Medellín ha anunciado la implementación de paneles solares en 5 edificios del campus Volador y en 2 del campus Robledo. Estos sistemas tendrán una capacidad total de 764,8 kWp [4].

Otros sistemas más pequeños de generación han sido implementados en otras sedes de la universidad: En la sede Amazonía hay un arreglo de dos paneles que funcionan junto a un sistema de baterías. También, en la sede Palmira se instalaron paneles solares para alimentar algunos laboratorios del campus [2].

Otra tecnología que ha sido implementada en la Universidad Nacional ha sido la movilidad eléctrica: En 2021 la sede Bogotá adquirió un vehículo tipo van 100% eléctrico. Esta compra se concibió como un primer paso hacia la modernización del parque automotor de la universidad, pues para 2022 el 58% de los vehículos de la sede tenían una antigüedad mayor a 10 años [5].



Figura 2. Van eléctrica de la sede Bogotá de la Universidad Nacional [4].

También, en el año 2020 se iniciaron obras para implementar una estación de carga de vehículos eléctricos en la sede Medellín de la universidad, con capacidad para 6 vehículos y 12 bicicletas eléctricas. Adicionalmente, en 2019 se inauguró una estación que es alimentada por un arreglo de paneles solares y brinda carga a bicicletas, monopatines y motos eléctricas [6].

Adicional a la generación fotovoltaica y movilidad eléctrica, en la Universidad Nacional se han implementado equipos de medición inteligente en varios edificios de la sede Bogotá. Los datos de estos medidores han sido utilizados para construir las curvas de demanda de las diferentes cargas que se encuentran en el campus y el de la sede en su totalidad.

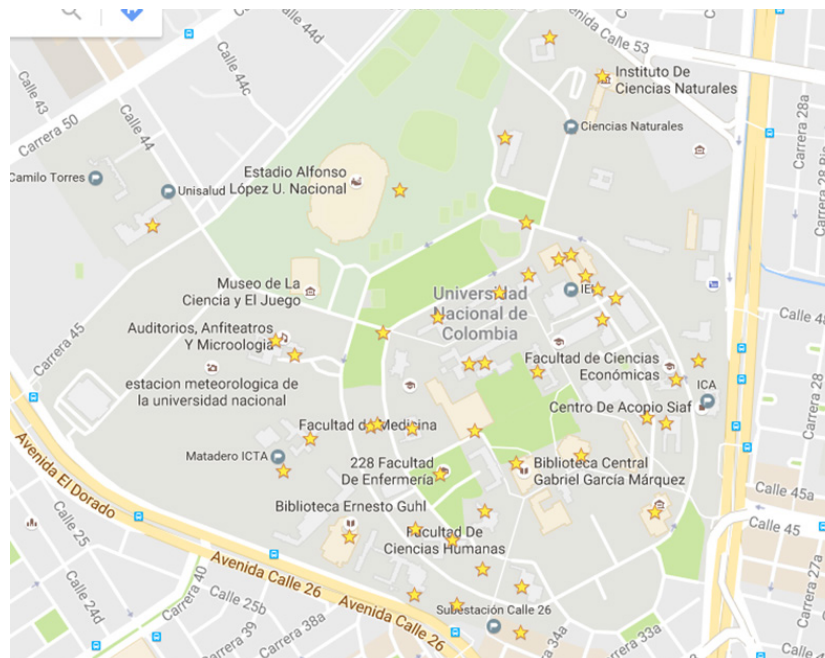


Figura 3. Ubicación de los equipos de medición inteligente de la sede Bogotá.

También, se han instalado 2 unidades de medición fasorial PMU al interior del campus (una en la facultad de medicina y una en el edificio de genética) y una afuera de la sede en la subestación salitre.

Finalmente, varios investigadores de la universidad han desarrollado trabajos en el área del hidrógeno: Por ejemplo, el grupo de investigación de bioprocesos y bioprospección IBUN ha obtenido avances en la obtención de hidrógeno verde. IBUN también ha unificado esfuerzos con otros grupos de investigación de la universidad que han obtenido avances en producción, almacenamiento y uso de hidrógeno [7].

En la siguiente tabla se realiza un resumen de todas las tecnologías y sistemas de redes inteligentes que han sido implementados en la Universidad Nacional:

Tabla 1. Sistemas de redes inteligentes implementados en la Universidad Nacional.

TECNOLOGÍA	SISTEMA O PROYECTO
GENERACIÓN FOTOVOLTAICA	Sistema con 220 paneles en la facultad de medicina de la sede Bogotá.
	Sistema de generación con 536 paneles en el edificio Manuel Ancizar en la sede Bogotá.
	Sistema de generación fotovoltaico en la sede Manizales.
	Anuncio del inicio de la implementación de paneles en 7 edificios de la sede Medellín.
	Arreglo de paneles con baterías en la sede Amazonía.
MOVILIDAD ELÉCTRICA	Adquisición de un vehículo tipo van 100% eléctrico en la sede Bogotá.
	Inicio de la construcción de una estación de recarga para vehículos eléctricos en la sede Medellín.
	Estación de recarga de bicicletas, monopatinos y motos eléctricas en la sede Medellín.
MEDICIÓN	Medidores inteligentes en edificios de la sede Bogotá y análisis de las mediciones obtenidas.
HIDRÓGENO	Investigaciones en obtención, almacenamiento y uso de hidrógeno.

3. Grupo de investigación EM&D

El grupo de investigación “Electrical Machines & Drives, EM&D”, adscrito al Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, evidencian un liderazgo en implementación de tecnologías de Smart Grids, desde medición inteligente, micro-redes, gestión de demanda de energía, sistemas de cargabilidad dinámica, estudios de sistemas de generación renovable, recursos energéticos distribuidos, entre otros, dentro del entorno académico, científico, investigativo y con aplicaciones tecnológicas a la industria y a la sociedad.

Registrado en el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación con el código COL0120979 y clasificado dentro de la categoría más alta (A1), cuenta con personal altamente calificado, con amplia experiencia en formulación y desarrollo de proyectos de investigación relacionados con redes inteligentes y una importante trayectoria en investigación desde el año 2010 hasta la fecha. Además, el grupo EM&D cuenta con la infraestructura y los equipos necesarios para llevar diversos tipos de análisis requeridos para generar nuevo conocimiento en los campos de investigación. Dentro de los más destacados se encuentran los equipos de medición inteligente instalados al interior del campus, sistema de generación fotovoltaico de 70 kWp, estaciones meteorológicas, medidores de consumo de agua, todo esto integrado bajo la plataforma de pruebas y desarrollo de tecnología aplicada del Laboratorio de Redes Inteligentes, LAB+i. Gracias a esta infraestructura y al equipo de trabajo con el que se cuenta, se han alcanzado algunos logros y se ha adquirido una experiencia investigativa como se presenta en la Figura 4

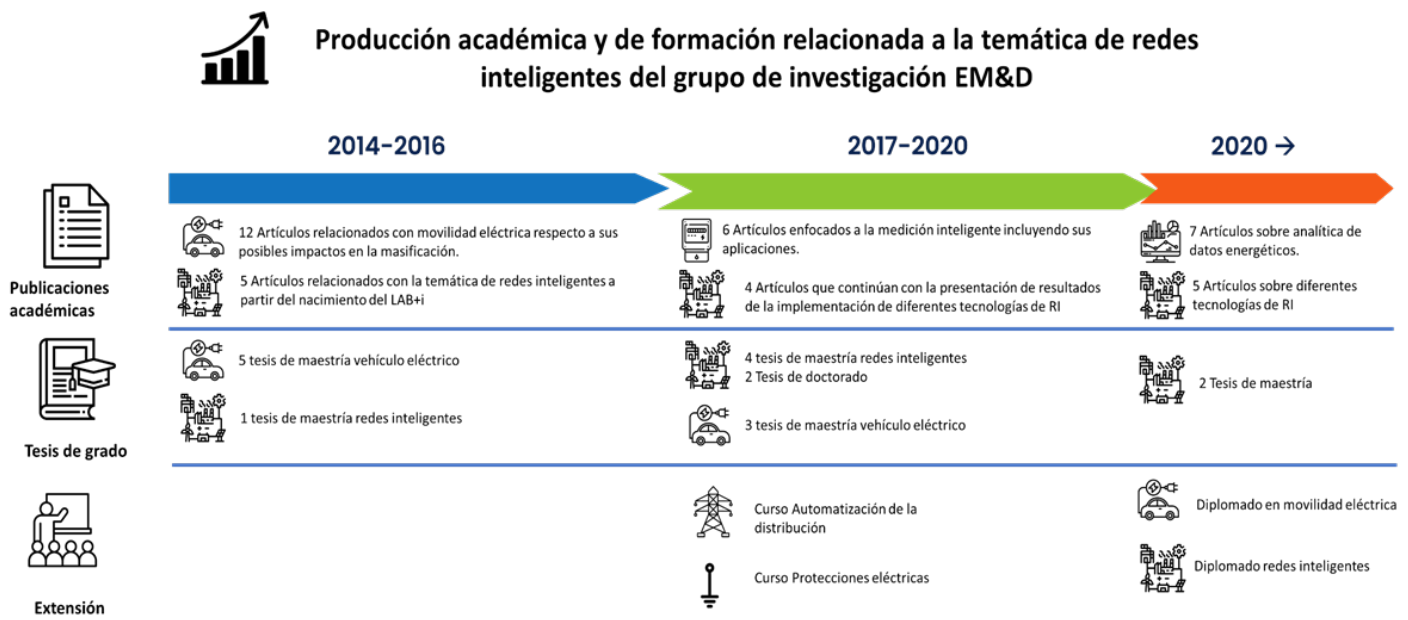


Figura 4 Producción académica relacionada con Redes inteligentes Grupo EM&D

4. Alternativas

A continuación, se presenta un diagrama que describe los principales aspectos de la propuesta. Este diagrama se realizó aplicando la teoría del cambio al proyecto. En la parte izquierda del gráfico se presenta el principal problema que se pretende resolver con el proyecto: Bajo conocimiento en el país respecto a la integración de tecnologías de redes inteligentes y su impacto en los diferentes actores del sistema incluyendo el usuario final y desconocimiento de las diferentes ventajas y desventajas que traen la implementación de estas tecnologías. En la siguiente sección (acciones), se detallan las tareas a realizar para llegar a resolver el problema descrito en la primera sección del gráfico. Posteriormente, en la sección “productos” se detallan los bienes y servicios que se esperan del proyecto. La sección “resultados” muestra los efectos a corto y mediano plazo que se plantea para el proyecto. Finalmente, en la sección “impacto” se detalla el objetivo central que se plantea el proyecto: Incrementar el conocimiento científico y tecnológico del impacto en el sistema eléctrico del país de la implementación de las diferentes tecnologías de red inteligente incluyendo su implementación y uso.



Figura 5 Teoría del cambio del proyecto

El proyecto Smart Flex Campus planea convertir el sistema eléctrico de la Universidad Nacional de Colombia en una red inteligente, cuyo propósito además de garantizar el suministro de energía al interior del campus de una manera más eficiente y amigable con el medio ambiente, es que este sea capaz de funcionar como un laboratorio en el que se puedan realizar pruebas de tecnologías relacionadas con las Smart grids y que posteriormente puedan ser implementadas en proyectos a gran escala en el país. Para la consecución de esto se proponen las siguientes tareas:

- Creación de un centro de innovación energética que cuente con laboratorios, aulas de clases y espacios abiertos al público en general. Además, este lugar servirá como espacio para albergar varias de las tecnologías que harán parte del proyecto.
- Implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica.
- Implementación de un sistema de almacenamiento con baterías.
- Implementación de un sistema de generación con biomasa.
- Implementación de un sistema de monitoreo, procesamiento, almacenamiento y análisis de datos.
- Despliegue de sistemas de movilidad eléctrica.
- Actualización y organización de los circuitos y cargas eléctricas del campus.
- Implementación de un sistema de protecciones eléctricas para el sistema eléctrico del campus.
- Despliegue de una red de comunicación 5G al interior del campus.
- Actualización de los equipos de los laboratorios y oficinas de la universidad.
- Implementación de medición inteligente, sistemas de control y monitoreo en todas las sedes de la universidad para que puedan ser monitoreados desde el centro de control en la sede Bogotá vía intranet.

Se espera que cada uno de estos sistemas traiga los siguientes beneficios:

Tecnología	Beneficios corto plazo	Beneficios media plazo
Movilidad eléctrica (bus y bicicletas)	Reducir la huella de carbono al interior del campus producto de desplazamientos al interior del mismo.	Evaluación técnica de servicios de flexibilidad en cuanto a arquitecturas, interoperabilidad y ciberseguridad
	Concientización de la población de los beneficios de la movilidad eléctrica.	Recomendaciones para el desarrollo de políticas sobre la integración y prestación de servicios.

Estación de recarga para vehículos eléctricos	Facilitar el uso de vehículos eléctricos para el desplazamiento de la comunidad universitaria hacia el campus y en la ciudad.	Evaluación Esquemas de transacciones en tiempo real para la operación y prestación de servicios asociados.
	Disminuir la huella de carbono producto del transporte de la comunidad universitaria al interior de la ciudad.	Estrategias de optimización de servicios de recarga y optimización del uso de la infraestructura
	Disponer de un medio para recolectar datos sobre el uso de la movilidad eléctrica en la ciudad de Bogotá por parte de la comunidad universitaria.	Desarrollo y evaluación de nuevos modelos de negocio a partir de la infraestructura.
Sistema de generación fotovoltaica	Reducción de la huella de carbono producto del consumo energético al interior del campus.	Evaluación de esquemas de operación de servicios de flexibilidad
	Concientización de la población sobre los beneficios de la generación con fuentes renovables de energía.	Proposición y evaluación de nuevos esquemas de operación, tarificación y remuneración,
	Aumento del conocimiento de la población sobre el funcionamiento de la generación con fuentes renovables de energía.	Pruebas y recomendaciones de esquemas de operación de MICROGRID o comunidades energéticas
	Recolección de datos sobre generación solar al interior del campus para generación de conocimiento.	Simulación de operaciones de agregación de generación en tiempo real.

Sistema de almacenamiento con baterías	Concientizar a la población sobre los beneficios del almacenamiento de energía con baterías.	Pruebas y recomendaciones de esquemas de operación de MICROGRID o comunidades energéticas
	Aumento de la investigación en temas relacionados con sistemas de almacenamiento de energía con baterías en redes inteligentes.	Pruebas y evaluación de esquemas de prestación de servicios de flexibilidad de la tecnología.
	Aumento del conocimiento en la población sobre el funcionamiento de los sistemas de almacenamiento de energía.	Desarrollo de nuevos modelos de negocio a partir del despliegue de la tecnología.
	Disponer de un sistema de respaldo para alimentar cargas críticas al interior del campus.	Pruebas de interoperabilidad entre los diferentes actores interesados y beneficiados por el despliegue de la tecnología.
	Facilitar la integración futura de sistemas de generación con fuentes renovables al interior del campus.	Recomendaciones para la formulación de políticas para una operación bajo el concepto de red inteligente.
Centro de control y medición inteligente	Disponer de forma libre de datos sobre el funcionamiento y operación del sistema eléctrico de la universidad, para la generación y transmisión de conocimiento.	Repositorio de datos producidos por las diferentes tecnologías.
	Mejora de la gestión del consumo de energía al interior del campus.	Prestación de servicios que involucren a diferentes actores evaluando interoperabilidad y ciberseguridad

Educar a la población sobre los beneficios de la medición inteligente.

Desarrollo y evaluación de nuevos modelos de negocio a partir de los datos generados.

Mejora de la calidad del servicio de energía eléctrica en la universidad.

Aplicación de tecnologías de Big Data y Machine Learning para la optimización de procesos.

Por lo tanto, con el fin de llevar a cabo el proyecto Smart Flex Campus, se han propuesto una serie de tareas que se enfocan en implementar sistemas eléctricos inteligentes, renovables y eficientes en el campus universitario. Cada uno de estos sistemas y tareas están diseñados para cumplir con objetivos específicos y se espera que contribuyan a alcanzar los resultados deseados. En las siguientes secciones, se describen cada uno de estos sistemas y tareas, sus características, costos y beneficios esperados.

Centro de innovación energética

Uno de los aspectos más importantes del proyecto, es la creación de un centro de innovación energética. A continuación, se muestran las principales características y espacios del edificio:

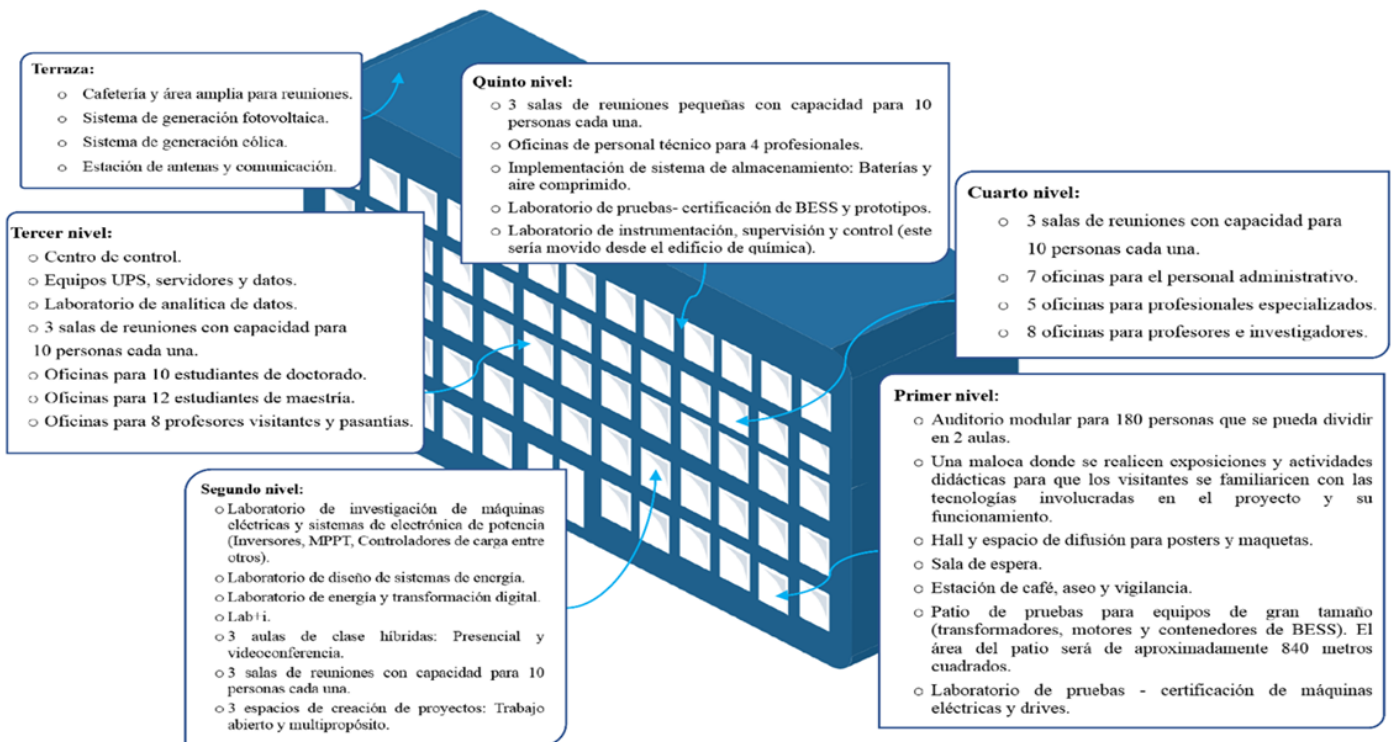


Figura 6. Distribución de espacios del centro de innovación energética.

Este edificio además de albergar algunas de las tecnologías involucradas en el proyecto también debe funcionar como uno de los principales centros de innovación, educación e investigación en áreas del conocimiento relacionadas con la transición energética del país. Para lograr esto, se plantean las siguientes tareas para algunos espacios del edificio:



En los distintos laboratorios se realizarán clases e investigación en distintas áreas: energías renovables, control, comunicaciones, medición inteligente, redes inteligentes, almacenamiento de energía, movilidad eléctrica, eficiencia energética, ciencia de datos energéticos, etc.



La distribución de los cupos de estudiantes de maestría y doctorado (12 y 10 respectivamente) que realicen investigación en el centro debe garantizar la paridad de género. Esto con el fin de contribuir a la disminución de la brecha de género que hay actualmente en las carreras STEM.



Aulas de clases donde se dicten cursos de pregrado, posgrado, diplomados, conferencias, cursos tecnológicos y cursos de extensión para todo público, sobre todas las áreas del conocimiento involucradas en el proyecto.



Espacios para promover emprendimientos e investigaciones relacionadas con las energías renovables, redes inteligentes, comunicaciones, movilidad eléctrica, ciencia de datos energéticos, eficiencia energética, etc.



El centro en su totalidad debe funcionar como un espacio abierto al público donde se realicen visitas guiadas y los visitantes puedan interactuar y aprender sobre las distintas tecnologías involucradas en el proyecto y sobre los beneficios e importancia de este tipo de proyectos para el desarrollo del país.

A continuación, se detalla una lista de los posibles equipos que se encontrarán en los laboratorios del centro:

		
Inversores solares	Medidores de potencia	Sistema trifásico para pruebas completas de transformadores de potencia
Una turbina eólica de eje vertical	Medidores de aislamiento	Dispositivo de pruebas de capacitancia / factor de disipación.
Reguladores de carga	Medidores LCR	Dispositivo de pruebas de capacitancia / factor de disipación.
Paneles fotovoltaicos de distintas tecnologías (monocristalinos, policristalinos, amorfos)	Medidores de calidad de onda	Analizador dieléctrico de aislamiento
Un sistema de almacenamiento con baterías	Medidores de humedad y temperatura	Analizadores de señal
Un simulador regenerativo de red eléctrica	Baterías de diferentes tecnologías (plomo ácido, litio, níquel, etc.)	Analizador digital de transformadores
Una fuente programable CA y fuente programable CD	Cámara climática y cámara de seguridad	Analizador de seguridad eléctrica
Una carga electrónica programable CA/CD	Incubadora de refrigeración	Sistema portátil de diagnóstico de descargas parciales
Multímetros digitales	Controladores de motor	Cámaras termográficas
Maleta de ensayo de protecciones eléctricas	Convertidores CD-CD	Osciloscopios digitales
	Telurómetro	Computadores de alto rendimiento
	Potenciostato	

Figura 7. Posibles equipos del centro de eficiencia energética.

A partir de esto, se podrán activar dentro del campus los nodos de investigación que se presentan en la Figura 8 en donde:

- Tecnologías:** A partir del despliegue de las diferentes tecnologías se podrá desarrollar nuevo conocimiento en integración de estas nuevas tecnologías y su funcionamiento en estados de operación real y sus beneficios en cuanto a brindar mayor flexibilidad de operación al campus.

- **Datos:** Los datos producidos dentro del SmartFlex Campus se procurará que sea de acceso libre para todo aquel que quiera utilizar esta fuente de datos para el desarrollo de aplicaciones o validación de modelos.
- **Usuario:** La comunidad universitaria al ser tan amplia y diversa permitirá poner bajo prueba diferentes mecanismos que buscan la interacción del sistema con los usuarios para obtener mejoras en la eficiencia energética del sistema.
- **Políticas y regulación:** El proyecto servirá como un nodo de validación de diferentes políticas e iniciativas de regulación que facilitará la toma de decisiones y la identificación de prioridades para un adecuado despliegue de estas.
- **Interoperabilidad, Ciberseguridad y Comunicaciones:** Estas tres temáticas serán los ejes en la cual el proyecto se estructurará y que permitirán un adecuado funcionamiento de este.

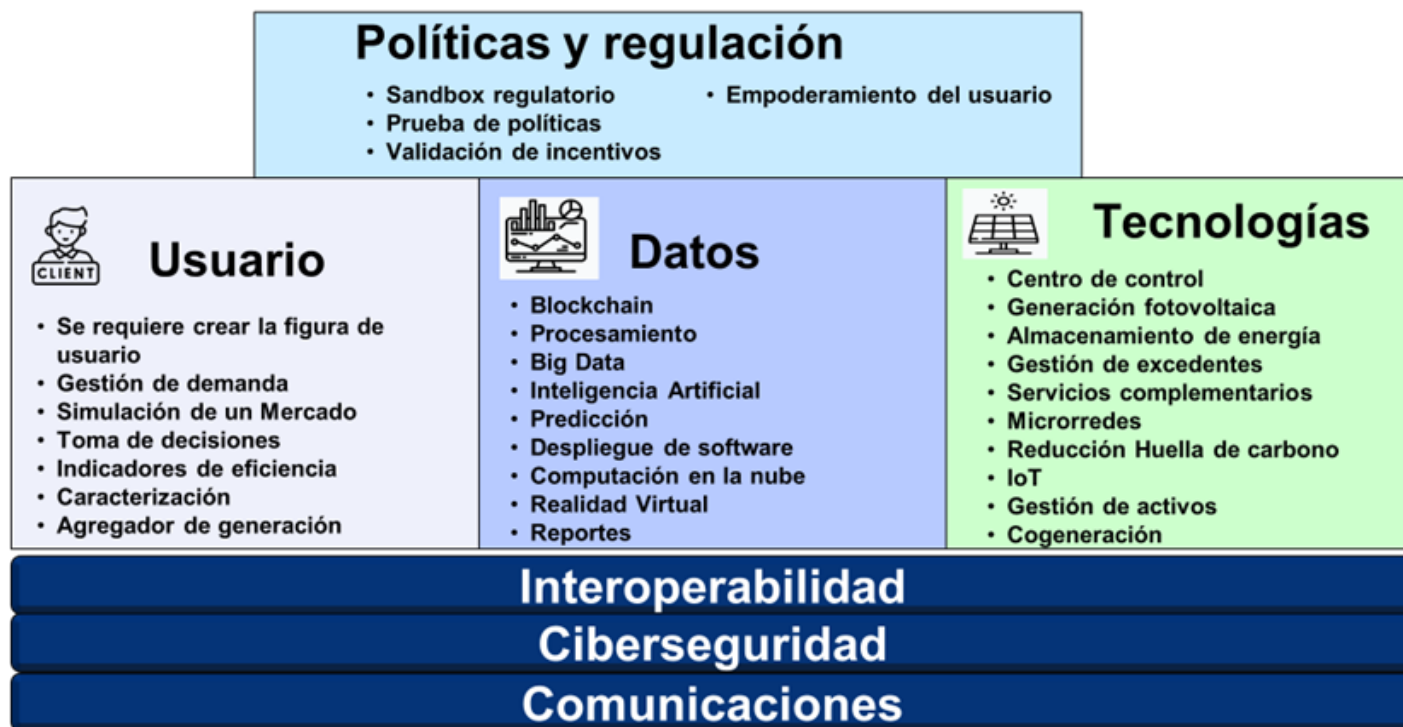


Figura 8 Esquematización de nodos de trabajo y prioridades.

Para estimar un valor aproximado de la construcción del edificio, se toma como referencia el costo de la nueva facultad de ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Esta edificación tendrá un costo de 112.000 millones COP y un área total de 12856 metros cuadrados [8]. Así, el costo del metro cuadrado del edificio se estima en \$8.711.885,5. En el caso del centro de innovación, se contempla un edificio de 5 pisos con un área aproximada de 4500 metros cuadrados cada uno (22500 metros cuadrados en total) lo que significaría un costo aproximado de 196.000 millones destinados a la construcción del centro de innovación energética.

Para el funcionamiento del centro, se contempla el siguiente personal:

- 2 vigilantes con una asignación mensual de \$ 2.066.290 cada uno.
- 4 auxiliares de servicios generales con una asignación mensual de \$2.066.290 cada uno.
- 1 administrativo con una asignación mensual de \$11.998.530.
- 6 auxiliares administrativos con una asignación mensual de \$2.362.550 cada uno.
- 1 asistente administrativo con una asignación mensual de \$2.806.940.
- 5 profesionales especializados con una asignación mensual de \$8.887.800 cada uno.
- 8 profesionales investigadores con asignación mensual de \$9.480.320 cada uno.
- 3 auxiliares técnicos con una asignación de \$3.399.460 cada uno.

La asignación mensual y anual de los trabajadores se muestra a continuación:

Tabla 2. Cargos y asignaciones salariales del centro de innovación energética.

<i>Cargo</i>	<i>Asignación mensual</i>	<i>Asignación anual</i>
<i>2 vigilantes</i>	\$ 4.132.580,00	\$ 49.590.960,00
<i>4 auxiliares de servicios generales</i>	\$ 8.265.160,00	\$ 99.181.920,00
<i>1 administrativo</i>	\$ 11.998.530,00	\$ 143.982.360,00
<i>6 auxiliares administrativos</i>	\$ 14.175.300,00	\$ 170.103.600,00
<i>1 asistente administrativo</i>	\$ 2.806.940,00	\$ 33.683.280,00
<i>5 profesionales especializados</i>	\$ 44.439.000,00	\$ 533.268.000,00
<i>8 profesionales investigadores</i>	\$ 75.842.560,00	\$ 910.110.720,00
<i>3 auxiliares técnicos</i>	\$ 10.198.380,00	\$ 122.380.560,00
Total	\$ 171.858.450,00	\$ 2.062.301.400,00

Las asignaciones mensuales mostradas anteriormente ya contemplan los valores de prestaciones sociales.

Bus eléctrico

Se tiene planeado implementar un bus eléctrico cuya ruta sea una vuelta al anillo vial y un recorrido ida y vuelta al CAN, este trayecto comprende cerca de 12 km. Este vehículo también tendrá posibilidad de detenerse en las estaciones de Transmilenio que se encuentran en el recorrido; estación de Quinta Paredes, Gobernación, CAN y Salitre el Greco. El recorrido se detalla en la Figura 9:

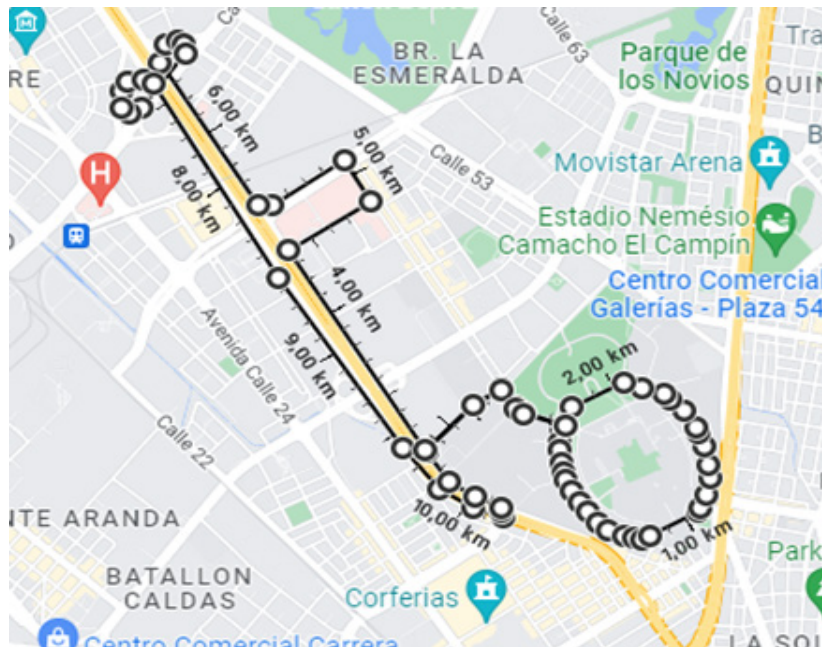


Figura 9. Ruta planeada para el bus eléctrico.

Se considera la implementación de al menos un bus eléctrico de 12 metros, cuyo costo promedio oscila entre 320 y 420 mil dólares [9].

Los costos asociados a la recarga de la batería de los vehículos dependerán de la estrategia de carga que se implemente en el sistema; cuando esta tarea se realiza con poca frecuencia, será necesaria una batería con mayor capacidad de almacenamiento y los tiempos de recarga podrán ser mayores. En el caso de que los vehículos puedan ser recargados varias veces al día, la batería podrá tener una menor capacidad de almacenamiento y sus tiempos de carga deberán ser más cortos, lo que requerirá equipos con mayor potencia [9]. Teniendo en cuenta esto, si se implementan cargadores similares a los instalados en las estaciones de recarga para los buses eléctricos de Bogotá, se trataría de equipos con una potencia de 360 kW [10]. Esto significaría un gasto aproximado de 180 mil dólares [9].

La integración del bus eléctrico en el proyecto busca reducir la huella de carbono y fomentar la movilidad sostenible. La emisión de CO₂ de un autobús diésel es cerca de 11 kg por cada viaje de 12 km, mientras que la generación de energía necesaria para que el autobús eléctrico realice el mismo recorrido tiene una emisión de CO₂ de 1,3 kg aproximadamente. Además, se busca promover y demostrar el funcionamiento de tecnologías de transporte eléctrico y fomentar la investigación en este campo.

Bicicletas eléctricas

Dentro de la propuesta también se plantea la implementación de un sistema de bicicletas eléctricas para la movilidad al interior del campus. En la actualidad la sede Bogotá cuenta con un servicio de préstamo de bicicletas (Bicirrun) el cual tiene 50 unidades y 5 estaciones [11] como se muestra en la siguiente figura:

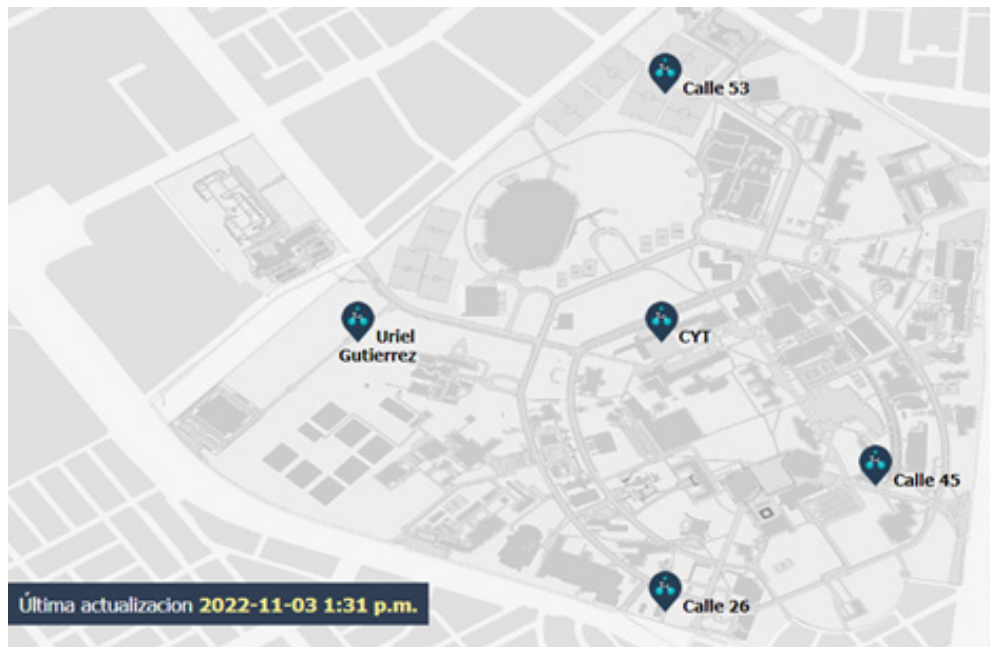


Figura 10. Distribución de las estaciones de préstamo de bicicletas en el campus de la sede Bogotá [10].

Si se implementa un sistema de bicicletas eléctricas con el mismo número de ejemplares que el Bicirrun, se espera un gasto cercano a los 130 millones de pesos en la adquisición de bicicletas como las mostradas en [12]. En cuanto a los puntos de recarga para las bicicletas, si se implementan 25 cargadores (cada uno con dos conectores), distribuidos en las 5 estaciones mostradas anteriormente, se espera un gasto de aproximadamente 21 millones de pesos en la adquisición de estos equipos.

Con la implementación de este sistema de movilidad eléctrica en la universidad se espera generar un interés en la comunidad universitaria y en los visitantes del campus sobre los beneficios del uso cotidiano de la movilidad eléctrica. Estos beneficios serán más evidentes con la implementación de una plataforma que le muestre al usuario un cálculo de la huella de carbono generada por realizar el recorrido en la bicicleta eléctrica y la compare con el impacto ambiental de realizar el mismo recorrido en otros medios de transporte como el auto a combustión.

Estación de recarga para vehículos eléctricos

Se planea implementar una estación para la recarga de vehículos eléctricos al interior del campus. Tomando como ejemplo la estación para recarga de taxis eléctricos de Unicentro, se instalarían 3 cargadores de 43 kW cada uno [13]. Lo cual según [9] implicaría un costo cercano a 60mil dólares.

Con la implementación de esta estación de recarga se espera promover y facilitar el uso del vehículo eléctrico como medio de transporte al interior de la ciudad, especialmente para el desplazamiento de los visitantes y miembros de la comunidad universitaria hacia el campus.

También, a través de una plataforma web, el usuario podrá ver un cálculo de la distancia aproximada de recorrido que podrá hacer con la recarga que realizó en la estación. Con esta información, la plataforma también mostrará una aproximación de la huella de carbono que genera realizar este recorrido en el auto eléctrico y la comparará con la emisión generada por un auto de combustión que realiza el mismo recorrido. Esto con el objetivo de concientizar al usuario de la estación sobre los beneficios ambientales del uso de la movilidad eléctrica.

Sistema de generación solar fotovoltaica

Se planea contar con un sistema de generación solar de al menos 300 kWp. Para la estimación de los costos de este sistema, se utilizó la aplicación web disponible en [14], la cual calcula un costo de generación por kW de 1073,834 USD. Es decir, que los 300 kW mínimos planeados tendrían un costo total de 322mil dólares aproximadamente (1.591 millones COP). Este valor incluye el costo de los paneles, cableado, instalación y de los inversores con una eficiencia del 98% y demás componentes.

En cuanto a los costos de operación y mantenimiento esperados año a año, se proyecta un costo de 5806,2 dólares (28 millones COP aproximadamente) para el primer año. Este costo contempla la limpieza del sistema, el mantenimiento de los paneles, la remoción de vegetación, la labor operativa y administrativa, labores legales y la actualización de los inversores cada 15 años [14].

Para la instalación de un sistema con estas características, se espera disponer de un área cercana a los 4100 metros cuadrados. Como se mencionó anteriormente, este espacio se ubicará en el centro de innovación energética.

Algunas características y beneficios esperados de este sistema son:

- Generación aproximada de 430 MWh al año.
- Una disminución aproximada de 230 toneladas en la generación anual de CO₂.
- Un ahorro anual de 167 millones de pesos al año aproximadamente.

Para estimar estos valores se utilizó la herramienta de la empresa ENEL disponible en [15].

Se pretende que, durante la fase de implementación y funcionamiento del sistema, se realicen visitas para estudiantes e instituciones interesadas en el proyecto donde se enseñe sobre las características, proceso, beneficios e importancia de esta clase de proyectos.

Sistema de almacenamiento con baterías

El sistema de almacenamiento a implementar tiene una potencia de 1 MW/MWh. Al igual que en el sistema fotovoltaico, para estimar el costo del sistema de almacenamiento se utilizó la herramienta web disponible en [14]. Con los datos proporcionados por la herramienta, se espera un gasto aproximado de 746 mil dólares (3.684 millones COP). Dentro de estos valores se incluyen las conexiones, inversores, sistemas de control, monitoreo y comunicaciones, packs de baterías, contenedores de baterías, etc.

Los costos de operación y mantenimiento anuales se proyectan en 18651 dólares (89 millones COP aproximadamente) para el primer año. Este valor contempla las labores administrativas, operativas y el remplazo de las baterías para que el sistema mantenga sus características nominales [14].

Centro de control

Se opta por implementar una estrategia de control centralizado. El centro de control tendría como funciones la regulación de tensión, control de frecuencia, gestión de activos, control y alimentación de las cargas críticas y no críticas, operación de protecciones, etc. Entre los componentes que harían parte de esta estructura, se encuentra una RTU, que se encargaría de adquirir los datos de los equipos eléctricos y transmitirlos al sistema de control centralizado. Además, se incluiría una master station que recibiría la información de la RTU y controlaría las acciones necesarias en el sistema eléctrico. Por último, se requeriría una computadora para el sistema de gestión de energía, que permitiría una gestión eficiente de la energía eléctrica en el Smart Flex Campus. La estimación de costos para el centro de control está incluida en el presupuesto total del Centro de Innovación Energética presentado anteriormente.

Medición Inteligente

Como se mencionó anteriormente, ya se han implementado varios equipos de medición inteligente en la sede Bogotá de la universidad. En el proyecto Smart Flex Campus se planea ampliar estos sistemas de medición a todas las sedes de la universidad (inicialmente sobre los sistemas de generación fotovoltaica de Medellín y Manizales) para que puedan ser monitoreados tanto de manera local como remota. También, se espera que los datos de estas mediciones puedan ser visualizados de manera libre desde una plataforma de internet. La implementación de estos equipos también puede ir acompañada de la instalación de otras tecnologías de redes inteligentes en las todas las sedes de la universidad. Esto con el objetivo de descentralizar el proyecto y también aprovechar la presencia de la universidad en zonas con diferentes condiciones climáticas, pues esto aporta información importante sobre el comportamiento de estas tecnologías y la variabilidad en su operación, dependiendo de la zona geográfica donde operen. Se planea utilizar la infraestructura AMI instalada previamente en la universidad como se mostró en la sección 4. El costo aproximado por punto para los nuevos equipos de medición sería de 800milCOP, lo que incluye la instalación, adquisición del medidor, concentrador y equipos de comunicaciones[16].

Comunicaciones

El sistema de comunicación de la microrred de la Universidad seguirá las recomendaciones del estándar IEEE Std 2030.9-2019 [17]. Por ello se ha optado por un sistema de comunicaciones con las siguientes características:

- En la capa local implementar fibra óptica.
- Una red de comunicación dual para el sistema de protecciones.
- La capa de control centralizado operará con tecnología PTN y protocolo IEC61850-9-2+GOOSE.
- La capa de control y monitoreo contará con una red Ethernet de alta velocidad

Adicionalmente, la propuesta también contempla la implementación de una red 5G al interior del campus.

Eficiencia energética

Dentro de las tareas propuestas para mejorar la eficiencia energética del campus, se propone la caracterización y actualización de los equipos de los laboratorios del campus universitario de la sede Bogotá. Los laboratorios contemplados para esta tarea son:

- Los más de 25 laboratorios que hacen parte de la facultad de Ingeniería [16].
- Mas de 60 laboratorios asociados a la facultad de Ciencias [17].
- 3 laboratorios pertenecientes a la facultad de Ciencias Agrarias [17].
- Los 4 laboratorios del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos ICTA [17].
- Los 2 laboratorios pertenecientes al Instituto de Genética de la Universidad Nacional IGUN [17].
- 20 laboratorios que hacen parte de la facultad de Veterinaria [17].

También se contempla actualizar los equipos de las oficinas que conforman el campus.

Junto a esta actualización de equipos también se contempla la implementación de tecnologías inteligentes de monitoreo y control en los laboratorios, lo que permitiría identificar y corregir oportunidades de mejora en tiempo real y así aumentar la eficiencia energética de estos espacios. Además, se podrían implementar prácticas de gestión de la energía y capacitaciones para el personal de los laboratorios para fomentar el uso responsable de la energía y mejorar la sostenibilidad del campus universitario en su conjunto.

Otro componente importante que plantea la propuesta para hacer más eficiente el consumo de energía en la universidad, es la creación de una plataforma donde las personas que se encuentren al interior del campus, puedan ver detalladamente su consumo energético, su huella de carbono e información en tiempo real de los servicios disponibles al interior del

mismo (estaciones de carga de vehículos eléctricos, disponibilidad de bicicletas eléctricas en el campus, ubicación y ruta de los buses eléctricos al interior del campus, etc.). La plataforma también debe brindar información al usuario sobre medidas y hábitos que puede adoptar para reducir su consumo energético y su huella de carbono. Otra función propuesta para esta plataforma es que sirva como medio para compartir los datos producto de la medición inteligente al interior del campus, esto con el objetivo de facilitar el uso de estos datos en el ámbito educativo y proyectos de investigación.

Servidores

Esta propuesta también contempla la implementación de cuatro tipos de servidores:

- Servidor de almacenamiento de datos.
- Servidor de monitoreo en tiempo real.
- Servidor de procesamiento de datos.
- Servidor de entrenamiento, validación y despliegue de modelos.

Transferencia de conocimiento en el Smart Flex Campus

Frente a la transferencia de conocimiento, se plantean las siguientes estrategias:

- Desarrollo de cursos y diplomados abiertos a la comunidad: se busca la creación de programas educativos dirigidos a la comunidad en general, para que puedan conocer y aprender sobre las redes inteligentes y su aplicación en la mejora de la eficiencia energética. Estos cursos y diplomados se realizarán de manera presencial y virtual con el fin de facilitar el acceso a todas las personas interesadas en todas las regiones del país.
- Desarrollo de tesis de pregrado, maestría y doctorado en temas relacionados con las redes y sus beneficios: se busca fomentar la investigación en el área de las redes inteligentes, promoviendo la creación de tesis en diferentes niveles académicos.
- Publicación de reportes de los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto: se espera documentar los avances y resultados obtenidos en el proyecto de investigación para que puedan ser compartidos con la comunidad académica, sector empresarial y público en general. Esto también incluye informes y resultados de las pruebas y mediciones realizadas en el campus universitario, que podrían ser de interés para otras instituciones académicas, empresas y organizaciones interesadas en implementar tecnologías similares.

- Organización de eventos de gran impacto en temáticas relacionadas con las redes inteligentes: se planea organizar eventos de gran impacto, tales como congresos, foros, seminarios, entre otros, para fomentar el diálogo y la reflexión en torno a las redes inteligentes y sus beneficios.
- Ejecución de cursos abiertos a la comunidad en zonas apartadas del país donde las redes inteligentes puedan convertirse en una solución de problemáticas de acceso a la energía: se busca llevar la información sobre redes inteligentes a zonas apartadas del país, donde el acceso a la energía es limitado, y donde la implementación de redes inteligentes podría ser una solución a las problemáticas energéticas.
- Asesoramiento en la ejecución de proyectos de redes inteligentes a las diferentes organizaciones públicas interesadas en proyectos de este tipo: se busca brindar asesoramiento y apoyo a las organizaciones interesadas en la implementación de redes inteligentes, para que puedan llevar a cabo sus proyectos de manera efectiva y eficiente.
- Realización de convenios con empresas del sector interesadas en el despliegue de tecnologías bajo un entorno de red inteligente: se busca establecer alianzas y convenios con empresas interesadas en la implementación de tecnologías bajo un entorno de red inteligente, para promover el desarrollo conjunto de proyectos y la transferencia de conocimiento.
- Fomento del desarrollo de Spin Off's a partir del resultado de las diferentes investigaciones realizadas: se busca promover la creación de empresas derivadas (spin-offs) a partir de los resultados obtenidos en el proyecto de redes inteligentes, para que puedan explotar comercialmente las tecnologías desarrolladas y contribuir al crecimiento del sector.

Cronograma de ejecución

Durante el primer año de ejecución se proyecta realizar el diseño de cada uno de los sistemas que integran el Smart Flex Campus y del centro de innovación energética. A partir del segundo año, se empezará con la construcción e implementación del proyecto, esta fase tiene una duración esperada de 1 año y medio. Posteriormente, durante 1 año y medio se realizarán unas primeras investigaciones en temas como esquemas de despliegue, aprendizaje, implementación, enseñanza, etc. Finalizada esta fase de investigaciones iniciales, se planea dar inicio a la fase de investigación especializada en temas como sistemas de almacenamiento, analítica de datos, inteligencia artificial, innovación energética, etc. A continuación, se presenta una imagen que resume el cronograma del proyecto:

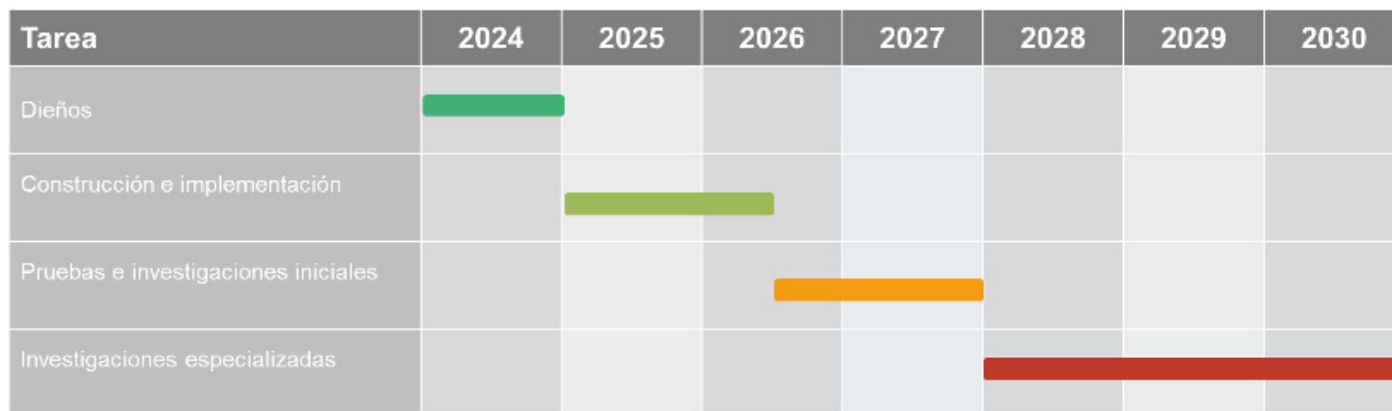


Figura 11. Cronograma de ejecución de servicios

5. Resumen de beneficios del proyecto

A continuación, se muestra un resumen de los beneficios esperados del proyecto:

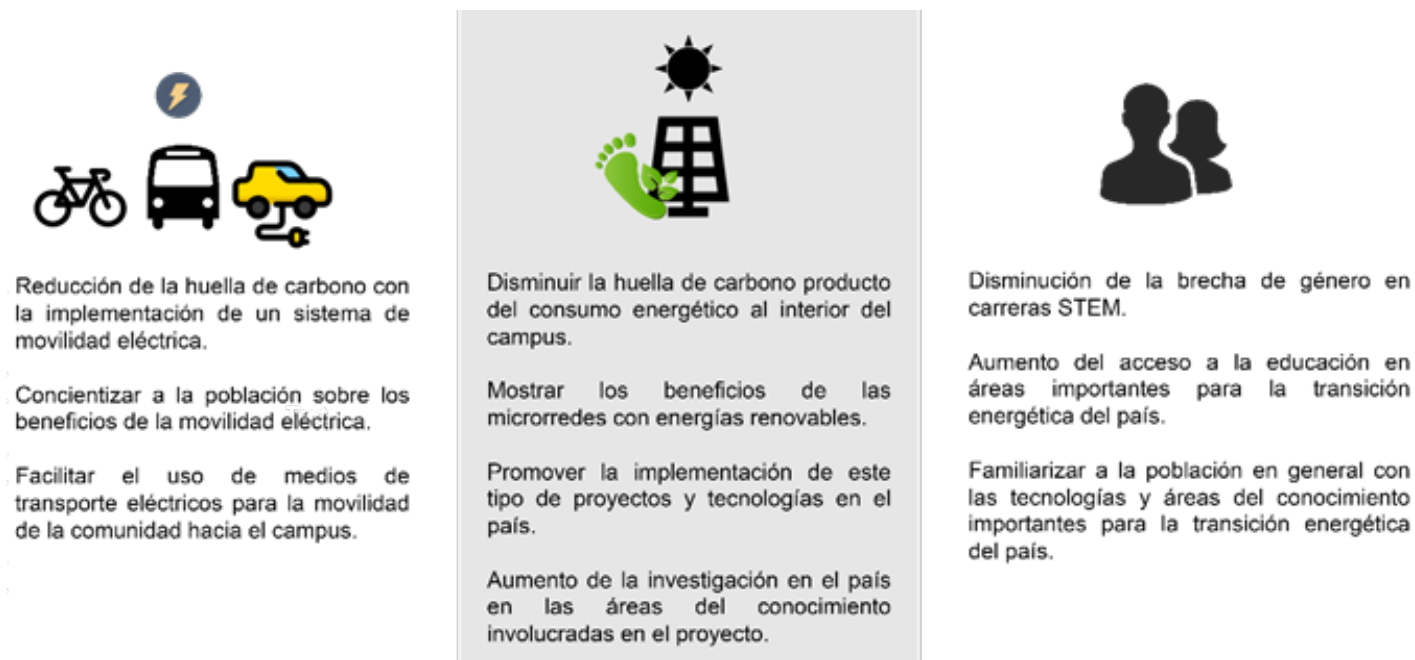


Figura 12. Beneficios esperados del proyecto.

6. Resumen de costos esperados

En el siguiente cuadro se detalla un resumen de algunos de los costos calculados para el proyecto:

Tabla 3. Costos de inversión esperados de algunos componentes del proyecto

Ítem	Costo
<i>Bus eléctrico</i>	\$ 2.073.821.400,00
<i>Bicicletas eléctricas</i>	\$ 130.000.000,00
<i>Estación de recarga del bus eléctrico</i>	\$ 888.780.600,00
<i>Cargadores bicicletas eléctricas</i>	\$ 21.000.000,00
<i>Estación de recarga para vehículos eléctricos</i>	\$ 296.260.200,00
<i>Sistema de generación solar fotovoltaica</i>	\$ 1.590.670.390,00
<i>Sistema de almacenamiento de energía con baterías</i>	\$ 3.683.684.513,00
<i>Centro de innovación energética</i>	\$ 156.814.000.000,00
Total	\$ 165.498.217.103,00

Los costos calculados de operación y mantenimiento anual se muestran a continuación:

Tabla 4. Costos de operación y mantenimiento del proyecto.

Ítem	Costo
<i>Operación y mantenimiento Sistema fotovoltaico</i>	\$ 27.736.972,00
<i>Operación y mantenimiento Sistema de baterías</i>	\$ 89.098.251,00
<i>Personal centro de innovación energética</i>	\$ 1.374.000.000,00
Total	\$ 1.490.835.223,00

7. Referencias

- [1] UNAL, "En funcionamiento 220 paneles solares instalados en Facultad de Medicina," 2018. <https://ingenieria.bogota.unal.edu.co/es/formacion/pregrado/ingenieria-civil/item/150-en-funcionamiento-220-paneles-solares-instalados-en-facultad-de-medicina.html>
- [2] UNAL, "UNAL Sede Manizales, autogeneradora de energía solar a pequeña escala." <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/unal-sede-manizales-autogeneradora-de-energia-solar-a-pequena-escala>
- [3] UNAL, "Energía Fotovoltaica - Oficina de Gestión ambientalOficina de Gestión ambiental." <https://ogabogota.unal.edu.co/componente-antropico/energia/energia-fotovoltaica/> (accessed Apr. 20, 2023).
- [4] UNAL, "Un convenio para avanzar hacia un campus cada vez más sostenible." <https://minas.medellin.unal.edu.co/noticias/4032-un-convenio-para-avanzar-hacia-un-campus-cada-vez-mas-sostenible>
- [5] A. Unal, "UNAL Sede Bogotá cuenta con el primer vehículo 100 % eléctrico." <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/unal-sede-bogota-cuenta-con-el-primer-vehiculo-100-electrico>
- [6] UNIMEDIOS, "Estaciones de carga para vehículos eléctricos, la nueva apuesta por un Campus Sostenible." <https://unimedios.medellin.unal.edu.co/bitacora/la-unal-cuenta/773-estaciones-de-carga-para-vehiculos-electricos-la-nueva-apuesta-por-un-campus-sostenible.html>
- [7] A. Unal, "UNAL avanza con pasos firmes en la Hoja de ruta del hidrógeno." <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/unal-avanza-con-pasos-firmes-en-la-hoja-de-ruta-del-hidrogeno>
- [8] A. de noticias UD, "Inició construcción de nueva facultad de ingeniería de la U." <https://agencia.udistrital.edu.co/noticia/inicio-construccion-de-nueva-facultad-de-ingenieria-de-la-u-distrital-costara-112000>
- [9] D. Escalante and M. F. Ortiz, "Sistemas de transporte público de autobuses eléctricos y el caribe en la región de América Latina," 2022.
- [10] Territoriosostenibles, "Bogotá inauguró estación para cargar 183 buses eléctricos al tiempo - Territorios Sostenibles." <https://territoriosostenibles.com/calidad-del-aire/bogota-inauguro-estacion-para-cargar-183-buses-electricos-al-tiempo#:~:text=tiempo-Territorios Sostenibles-,Bogotá inauguró estación para cargar 183 buses eléctricos al tiempo,la empresa distrital La R>
- [11] UNAL, "Bicirrun - Universidad Nacional de Colombia." <http://bicirrun.bogota.unal.edu.co/acercade.php>
- [12] A. Electric, "Bicicletas eléctricas _ Akt Electric." <https://www.aktelectric.com.co/>
- [13] EnelX, "Estaciones de recarga para vehículos eléctricos | Enel X," 2022. <https://www.enelx.com/co/es/personas/puntos-de-recarga>
- [14] ATB, "Utility-Scale PV | Electricity | 2022 | ATB | NREL." https://atb.nrel.gov/electricity/2022/utility-scale_pv
- [15] EnelX, "Calculadora solar fotovoltaica para empresas_ ahorro energético y económico." <https://www.enelx.com/co/es/simulador-es>
- [16] CREG, "CONDICIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE AMI EN EL SIN".
- [17] IEEE Standards Association, IEEE Std 2030.9-2019 - IEEE Recommended Practices for the Planning and Design of the Microgrid. 2019.
- [18] UNAL, "Laboratorios de la facultad de ingeniería." <https://ingenieria.bogota.unal.edu.co/es/extension/laboratorios.html>
- [19] UNAL, "Servicios de Laboratorio_ Universidad Nacional de Colombia." <http://www.laboratorios.bogota.unal.edu.co/menu-principal/laboratorios/menu-laboratorios/servicios-de-laboratorio/>