



**Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Información y
comunicación**

Carrera Ingeniería Industrial

TITULO:
“Optimización de los flujos energéticos en edificaciones”

RESPONSABLE ACADÉMICO:

AMBATO – ECUADOR

AÑO 2022

Coordinación de Investigación UTI

Ambato: Bolívar 20-35 y Guayaquil, 4to. Piso, Telf.: (03) 2421452 - Ext. 162

Quito: Machala y Sabanilla, Telf.: (02) 3998209- Ext. 326, investigacion@uti.edu.ec

A. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

A.1. Título del Proyecto:

“Optimización de los flujos energéticos en edificaciones”

Facultad: Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Información y Comunicación
FITIC

Carrera: Ingeniería Industrial

Director del proyecto:

Grupo de Investigación:

Duración del proyecto: 1 año

Presupuesto total del proyecto: 14573,12 (valorado 9573.12)

Presupuesto financiado por UTI: 5000

Presupuesto financiado con fondos externos:

A.2. RESUMEN

Las edificaciones como componentes de las ciudades albergan espacios en los que la población se congrega y desarrolla actividades vitales, por lo tanto, su uso continuado implica una gran demanda de energía y recursos. En este sentido las edificaciones de manera individual y en conjunto se constituyen en objetos primordiales en el impulso de la sostenibilidad energética. En esta investigación se pretende optimizar la cantidad de energía a consumir en edificaciones. Para lograr este objetivo son necesarias las siguientes fases: 1) Realizar un levantamiento de la infraestructura. 2) Caracterizar la generación renovable. 3) Caracterizar los usos eléctricos. 4) Confrontar los usos y la generación. 5) Caracterizar cuantitativamente la intermitencia de la generación renovable. 6) Equilibrar el confort visual (iluminación) y térmico (envolvente del edificio). Finalmente, con los resultados se plantearán estrategias para reducir el consumo de energía y maximizar la integración de la generación renovable. Las fases serán aplicadas al edificio UTI campus Agramonte, Ambato, Ecuador. Un resultado esencial es la generación de series temporales generación-usos que permiten optimizar la integración de la energía renovable mediante sistemas de almacenamiento. Plantearemos estrategias para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación del edificio en equilibrio con el confort térmico. Propondremos reformas y mejoras en elementos estructurales (muros, ventanas, temperaturas superficiales), así como, también en sus equipos de energía (calefacción, etc.). Finalmente, con el fin de acreditar la optimización del consumo de la edificación se presenta una comparación entre la situación actual y un escenario futuro integrando las energías renovables.

Palabras claves: Transición energética, optimización energética, energías renovables.

A.3. ANTECEDENTES E IMPORTANCIA DEL PROYECTO:

- **Problemática:** Los sistemas energéticos urbanos y sus edificaciones son una parte esencial de las ciudades. Estos para funcionar requieren un suministro fiable y abundante de electricidad, así como de otros servicios como son el agua, el combustible para el transporte, o los alimentos (Keirstead & Shah, 2013). Por otro lado, la doble crisis de recursos energéticos fósiles, de disponibilidad y de contaminación, obliga a avanzar en la transición energética renovable (Eicker, 2018; Frantzeskaki et al., 2017; Luque-Ayala et al., 2018). El análisis pormenorizado de los usos eléctricos sus vínculos con los recursos del territorio, la economía y el medio ambiente ofrece una información muy valiosa para proyectar la transición energética en entornos urbanos (Droege, 2018).

El sistema de energía en la actualidad se encuentra en una transición debida a la integración de Recursos Energéticos Distribuidos (DER) y a programas de Respuesta a la Demanda (DR) (Faria & Vale, 2019; Ponds et al., 2018). Este cambio de paradigma plantea nuevos desafíos especialmente en la gestión del sistema eléctrico en media y baja tensión. Por un lado, los operadores necesitan implementar mecanismos para monitorear y controlar las redes, y por el otro, los usuarios, que históricamente han sido un sujeto pasivo del mercado energético, están entrando a participar en el sistema en calidad de prosumidores (Baležentis & Štreimikienė, 2019; Correa-Florez et al., 2019; Faia et al., 2019).

Sin embargo, la integración de la DER y DR en el sistema eléctrico plantea problemas de continuidad y fiabilidad de suministro, bajo la premisa de que el sistema funcionará en un alto porcentaje con energías renovables y que entraremos con certeza en una etapa postpetrolera debida al agotamiento del petróleo. Para afrontarlo hay que recurrir, al almacenamiento de la energía a nivel de usuarios (viviendas, edificios) y a gran escala en forma de planta de generación virtual (barrios, ciudades), lo que es todavía un problema a resolver. Los sistemas de almacenamiento tienen límites de capacidad y solo permiten cubrir intermitencias a corto plazo (Sperstad & Korpås, 2019). Por tanto, si se quiere lograr una estabilidad del suministro a largo plazo, que hasta ahora solo se ha podido lograr con los recursos fósiles, se deben realizar cambios importantes en la infraestructura del sistema energético actual (Raunbak et al., 2017), y posiblemente explorar nuevos vectores como el hidrógeno.

El escenario más desfavorable del sistema energético actual es el agotamiento de los recursos fósiles (Urban, 2014), que combinado con la falta de una solución tecnológica viable de almacenamiento de energía que permita la integración y gestión de la generación renovable en el sistema eléctrico, pone en duda la viabilidad de un sistema energético que mantenga los estándares de calidad y continuidad de suministro actuales a medio y largo plazo.

La penetración de las energías renovables puede satisfacer la mayor parte de la demanda de electricidad. Sin embargo, la disponibilidad de energía está fuertemente condicionada por la disponibilidad instantánea de los recursos. La

intermitencia de la energía eólica es significativa incluso si se considera la integración de grandes áreas geográficas (Basit et al., 2019).

En este sentido, el modelado energético de un edificio puede ayudar a minimizar y costo operacional de un edificio y predecir el mejor escenario de eficiencia energética para cada caso de estudio. Se basa en una simulación exhaustiva del uso de energía del edificio y de los sistemas que lo integran, esto permite evaluar el consumo de energía de edificios existentes e incluso, diseñar un nuevo edificio con características de sostenibilidad.

La simulación se fundamenta en un modelo matemático que proporciona una representación aproximada del edificio. Un modelo energético se compone de entradas, tales como: condiciones climáticas; características de la envolvente del edificio (materiales de construcción y sus propiedades térmicas); cargas internas de iluminación, enfriamiento y/o calefacción, equipos eléctricos; horario de uso de los equipos, de iluminación y de los ocupantes. Las salidas y resultados del modelo se relacionan con el consumo energético del edificio, el nivel de confort térmico, el desempeño de los materiales constructivos de la envolvente, etc.

Dicho esto, la gestión de la energía en edificaciones es una pieza fundamental del sistema energético y es necesario preparar estrategias para enfrentar el reto de adaptar el uso a la disponibilidad (Ballarini et al., 2019). Este cambio de paradigma demandará varias reformas en la infraestructura de las edificaciones, hábitos de consumo y economía de los usuarios ecuatorianos.

En el contexto ecuatoriano si bien es cierto que en la última década se han implementado varios proyectos hidroeléctricos que cubren más del 90% de la demanda de energía, es necesario puntualizar que se trata de la temporada lluviosa. Según el informe del Operador Nacional de Electricidad de Ecuador, en temporada de estiaje existe la necesidad de integrar más del 15% en generación térmica (CENACE, 2018). No obstante, es necesario puntualizar que en el día de mínima potencia generada del año, 1 665,46 MW que se registró el domingo 01 de enero a las 07:00; el 33,16% fue cubierto con centrales hidroeléctricas, el 66,65% con centrales termoeléctricas, el 0,10% con energía no convencional y el 0,10% con energía importada (CENACE, 2017). En este sentido, si la demanda de energía sigue creciendo y el petróleo agotándose tomando en cuenta un escenario BAU, es de suma importancia la optimización de flujos energéticos en edificaciones públicas y privadas para darle en el futuro un cierto grado de flexibilidad a la gestión Sistema Nacional Interconectado (SNI) y garantizar la sostenibilidad energética de Ecuador.

A.4. Tipo de Investigación:

Básica ☐ Aplicada ☒ Experimental ☐

- **Investigación Básica:** Consiste en trabajos teóricos o empíricos que se emprenden fundamentalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de

los fundamentos de fenómenos, sin pensar obligadamente en darles ninguna aplicación o utilización determinada.

- **Investigación Aplicada:** Consiste en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos. Está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico.
- **Investigación Experimental:** Consiste en trabajos en los cuales se ponen a prueba una o varias hipótesis acerca de un fenómeno determinado, a través de la manipulación de la variable o variables que presumiblemente son la causa del fenómeno en estudio. En general, los experimentos también controlan los efectos de variables que no son de interés del estudio, pero que pueden influenciar en los datos.

A.5. Áreas del conocimiento:

UNESCO

Área del conocimiento en la que se enmarca el proyecto, según la Clasificación Internacional Normalizada de la Educación (CINE) de la UNESCO

Educación	☐
Humanidades y artes	☐
Ciencias sociales, educación comercial y derecho	☐
Ciencias	☐
Ingeniería, industria y construcción	☒
Agricultura	☐
Salud y servicios sociales	☐
Servicios	☐
Sectores desconocidos no especificados	☐

A.6. Equipo de trabajo:

Enumerar e identificar a los diferentes colaboradores institucionales del equipo de investigación: coordinador de proyecto (tiempo completo), investigadores asociados, asistentes técnicos, analistas, personal de apoyo, becarios, estudiantes, consultores externos y otros.

Nº	Participantes	Categoría	Rol a desempeñar en el proyecto	Afiliación Institucional
1				
2				

Nº	Participantes	Categoría	Rol a desempeñar en el proyecto	Afiliación Institucional
3				
4				
5				
6				
7				
8	Paula Camila Palacios	Estudiante	auxiliar	Universidad Tecnológica indoamérica
9	José Roland Castillo Montoya	Estudiante	auxiliar	Universidad Tecnológica indoamérica
10	Alumno 4	Estudiante	auxiliar	Universidad Tecnológica indoamérica
11	Alumno 5	Estudiante	auxiliar	Universidad Tecnológica indoamérica

A.7. Líneas de investigación

Indicar la línea de investigación a la que aplica el proyecto, teniendo en cuenta las líneas de investigación vigentes por cada uno de los centros que conforman el Centro de Investigación de la UTI:

Centro Empresa, Sociedad y Tecnología ESTec

- Creación y desarrollo de las MIPYMES y relación con otras formas de organización productiva
- Estudios socioculturales y económicos del consumo

☐
☐

Centro de Investigación en Mecatrónica y Sistemas Interactivos MIST

- Diseño, realización y caracterización de sistemas inteligentes, automáticos, semiautomáticos o manuales.
- Estudio de la relación entre el ser humano y la tecnología de su entorno.

☒
☐

Centro de Biodiversidad y Cambio Climático BIOCAMB

- Biodiversidad y Biogeografía.
- Ecología y Medio Ambiente.
- Enfermedades infecciosas en poblaciones de aves y anfibios.
- Cambio climático.

☐
☐
☐
☐

Centro de Investigación para el Territorio y el Hábitat Sostenible – CITEHS

- Sistemas territoriales urbanos y rurales
- Arquitectura y sostenibilidad
- Gestión ambiental

X

Centro de Investigación de las Ciencias Humanas y de la Salud - CICHE

- Estudio de los contextos socio – educativos
- Diseño de modelos de formación docente
- Estudio de las tecnologías aplicadas
- Estudio de los procesos cognitivos en el aprendizaje
- Bienestar humano

Unidad Operativas de Investigación (Facultad o Carrera)

Carrera Ingeniería Industrial

Grupos de Investigación

SISAU Research Group, Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Información y la Comunicación, Universidad Tecnológica Indoamérica, Ecuador.

B. PROPUESTA DEL PROYECTO

B.1. Introducción

Las edificaciones como componentes de las ciudades albergan espacios en los que la población se congrega y desarrolla actividades vitales, por lo tanto, su uso continuado implica una gran demanda de energía y recursos. En este sentido se propone una metodología para optimizar los flujos energéticos de una edificación con el objetivo de mejorar su sostenibilidad energética a través de la gestión en tiempo real. Se basa en las siguientes etapas: (1) contextualización de la zona de estudio; (2) caracterización del sistema energético; (3) confrontación de los datos de generación-uso; (4) diagnóstico energético; (5) reportes; y (6) optimización del sistema energético en tiempo real.

La contextualización permite identificar los patrones de captación y uso de energía de las edificaciones de la zona de estudio y ajustar así las medidas de sostenibilidad según convenga. El nivel de detalle dependerá de los datos disponibles.

La contextualización implica contar primero con un plano arquitectónico base de la edificación, incluida la infraestructura eléctrica, térmica, hidráulica e hidrosanitaria. Este plano base se utilizará para contextualizar la información de circuitos, flujos y niveles de consumo, etc. Además, se requieren propiedades de construcción útiles para contextualizar como el uso del espacio, el funcionamiento de las aberturas o los dispositivos de sombreado automatizados.

La caracterización se basa en mediciones agregadas de los usos eléctricos del edificio a nivel de baja tensión (iluminación, acondicionamiento térmico y ventilación) y de los datos meteorológicos para determinar la capacidad de generación de energía renovable (solar y eólica).

Para realizar las mediciones necesariamente se diseñará e implementará instrumentos (sensores de humedad, temperatura, ocupancia, caudal y analizadores de redes) para poder obtener los datos en tiempo real de los usos eléctricos y meteorológicos de la zona de estudio en donde se encuentra el edificio (estación meteorológica).

En la etapa de confrontación, se sincronizarán los datos simulados del potencial en generación renovable (solar y eólica) y usos eléctricos reales, en intervalos temporales de 15 minutos. Además, se estimará la adaptación de la luz natural en la iluminación del edificio.

En esta investigación, comparamos la demanda de electricidad del edificio central de la UTI con un suministro hipotético basado en generación solar y eólica de proximidad DER. Además, de optimizar las medidas de eficiencia energética equilibrando el confort visual (iluminación) y térmico (envolvente del edificio) para mejorar el rendimiento del edificio.

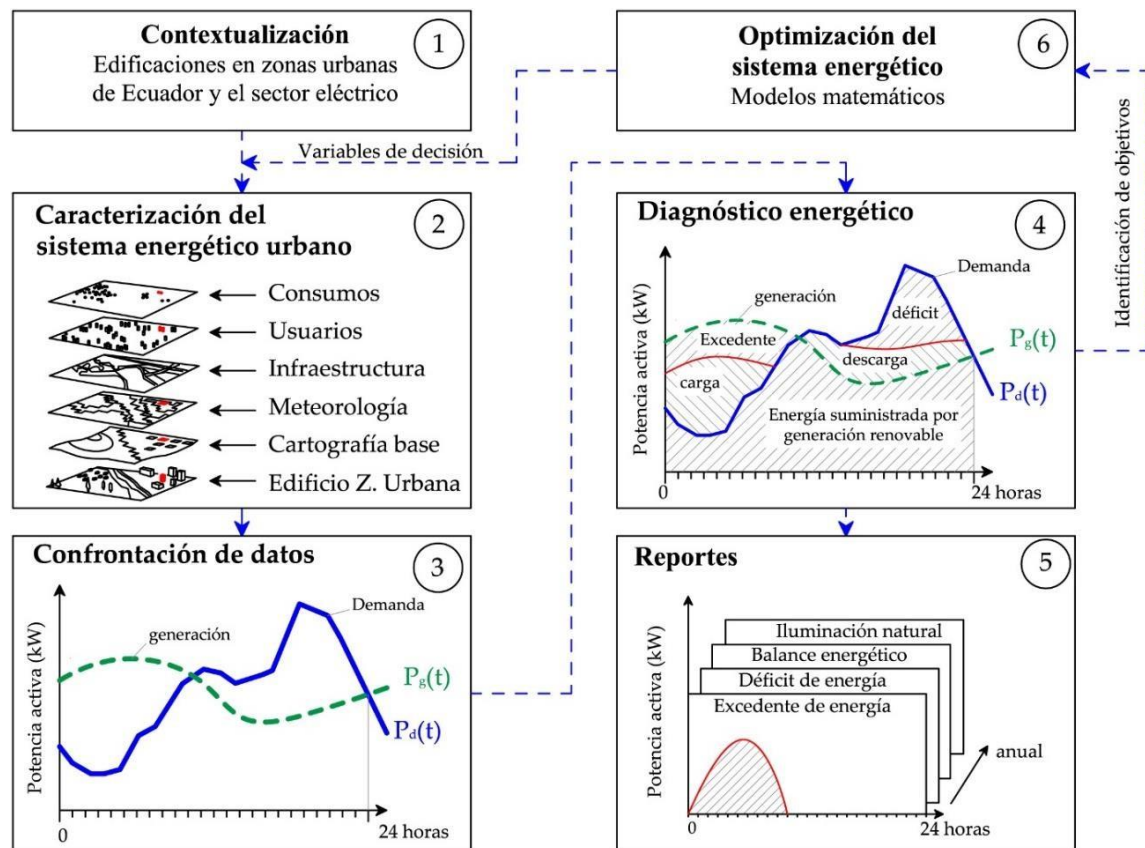


Figura 1. Metodología para la gestión de flujos energéticos en edificaciones ubicadas en entornos urbanos. (1) Contextualización de la zona de estudio; (2) Caracterización del sistema energético;

(3) Confrontación de los datos de generación-uso; (4) Diagnóstico energético; (5) Reportes; y (6) Optimización del sistema energético.

El diagnóstico eléctrico del edificio se basa en parámetros como: potencia demandada, potencia cubierta con energía renovable, excedente y déficit de generación y capacidad de almacenamiento. Este conjunto de parámetros son la base para presentar reportes de una diagnosis cuantitativa de la sostenibilidad del sistema energético de una edificación.

En el estudio nos centraremos en analizar el vector eléctrico y la influencia del aprovechamiento de la iluminación natural en equilibrio con el confort térmico para reducir los consumos. El modelo energético incluirá la información necesaria para realizar un análisis eléctrico y térmico para simular el rendimiento del edificio. Un edificio energéticamente eficiente es aquel que minimiza el uso de las energías convencionales a fin de ahorrar y hacer un uso racional de la misma, siendo el cociente entre la energía útil o utilizada por un sistema y la energía total consumida.

Finalmente, se aplicará un algoritmo de optimización desarrollado para el análisis del sistema energético de edificaciones, este necesita como base los parámetros de la infraestructura y como variables de entrada en el caso del vector eléctrico la caracterización de la generación y los usos eléctricos. Al ejecutarlo sincroniza la información y busca la solución óptima maximizando el uso de las renovables. Además, se pueden identificar estrategias de respuesta a la demanda.

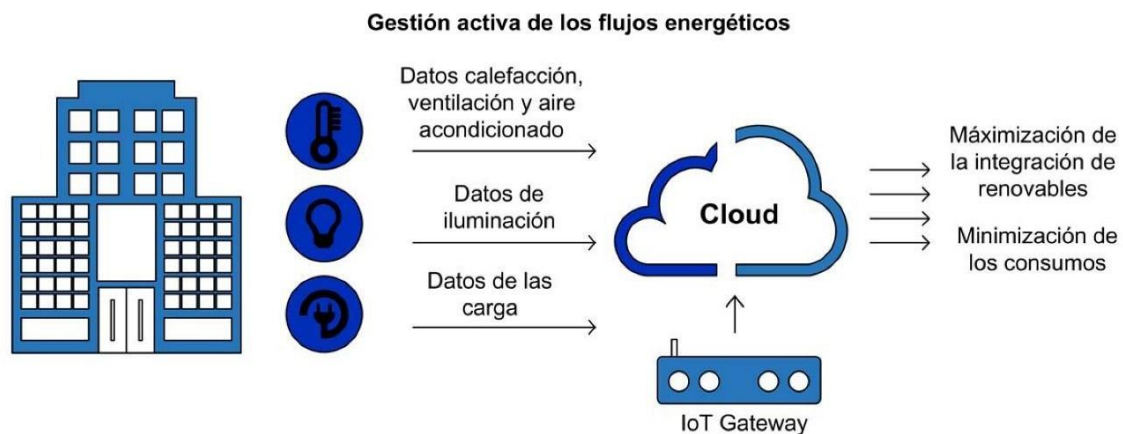


Figura 2. Gestión activa con Tecnología IoT para reducir los consumos energéticos y optimizar el rendimiento de edificio.

El procesamiento computacional de los datos realizado en la optimización permitirá definir el mejor ajuste a través de la gestión de los flujos energéticos con tecnología IoT (Figura. 2), optimizando el consumo de energía eléctrica y térmica, manteniendo al mismo tiempo un nivel de confort aceptable para los usuarios.

Los operadores tendrán la capacidad de controlar los flujos energéticos de forma remota en aplicaciones telefónicas e interfaces de escritorio. Los datos analíticos pueden ayudar a generar políticas y alertas sobre problemas de rendimiento del sistema, sin necesidad de personal de apoyo operativo en el lugar.

En una segunda etapa del proyecto se puede extender el control de flujos energéticos a varias edificaciones ubicadas en distintas ciudades intermedias de

Ecuador de manera que se pueda implementar una Planta de Generación Virtual Activa (Figura. 3) basada en prosumidores (Brown et al., 2019).

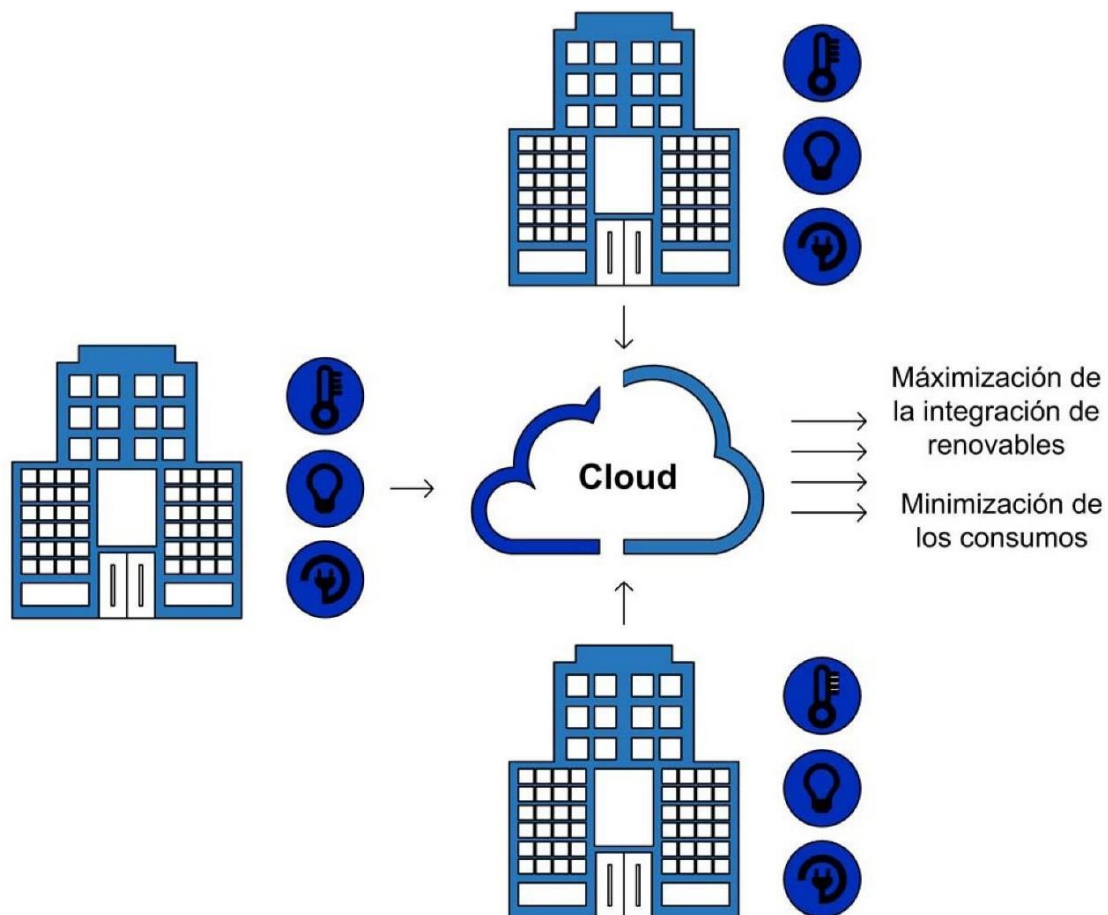


Figura 3. Planta de Generación Virtual Activa.

Los prosumidores, son usuarios que producen y consumen energía renovable y son actores clave en las transiciones energéticas de las ciudades. A medida que los consumidores se convierten en productores, están surgiendo en el mercado soluciones tecnológicas y regulaciones legales que buscan el bienestar económico, ambiental en compatibilidad con la teoría de la justicia energética. (Milčiuvienė et al., 2019).

Estado del arte

Los edificios contribuyen un elemento fundamental en la transición energética (Bartholdsen et al., 2019). La arquitectura de bajo consumo hace que el proceso tradicional del diseño de edificaciones se esté volviendo ineficaz y ya no podrá cumplir con los requisitos y estándares actuales (Lapinskienė et al., 2019). En este contexto, se han impulsado modelos de información de edificaciones (BIM) que se basan en la digitalización de la información para optimizar las decisiones relacionadas con la eficiencia energética a lo largo de todo el ciclo de vida de una edificación (Escrivá-Escrivá et al., 2019; Petri et al., 2017).

En el diseño tradicional de edificaciones no se realiza de manera adecuada la selección de materiales de construcción, equipos de climatización, electrodomésticos, iluminación y controles que apunten a incrementar el confort térmico y la eficiencia energética (Korjenic & Bednar, 2012). Las propiedades de los materiales que componen la envolvente del edificio (paredes, puertas, ventanas y techos) tienen un efecto directo en los niveles de consumo energético, debido a que involucran parámetros como la pérdida o ganancia de calor y ventilación (flujos de aire). Asimismo, la ubicación del edificio, la densidad de ocupación (actividades y comportamiento de los ocupantes) y las condiciones climáticas afectan el funcionamiento del edificio (Shabunko et al., 2018). Por lo que, los nuevos materiales, el manejo eficiente de los sistemas de construcción y la optimización de flujos energéticos representan grandes oportunidades y retos para investigadores y empresarios, ya que pueden suponer un gran ahorro de energía, la expansión del mercado de materiales de construcción ecológicos y la reducción de los gases de efecto invernadero.

En este sentido, para mejorar el rendimiento total de un edificio se ha desarrollado el concepto de consumo neto cero en donde la suma del uso de energía y la energía generada en un edificio se equilibran entre sí (Pisello et al., 2012). Según Iyer-Raniga, un Zero Energy Building (ZEB) es aquel que tiene un consumo neto de energía cero y cero emisiones de carbono anuales (Iyer-Raniga, 2019). Este concepto que no es trivial implica la implementación de diversas tecnologías de detección y monitoreo ambiental con son: los sensores y las tecnologías de comunicación alámbricas e inalámbricas (Hayat et al., 2019).

Según Runge et. al., se han aplicado modelos con redes neuronales artificiales para pronosticar el uso y la demanda de energía de los edificios, estas previsiones pueden ser aplicadas para la optimización energética, no obstante no dejan de ser simulaciones que solo se aproximan a la realidad (Runge & Zmeureanu, 2019) (Reynolds et al., 2018). Según la investigación realizada por Miller, no existe una solución estándar para modelar la predicción del consumo en edificaciones, porque es complejo adaptarlas a todos los tamaños y tipos de comportamiento temporal, con lo cual, se dificulta la generalización del aprendizaje automático con redes neuronales (Miller, 2019)

Liu et. al., hace análisis cuantitativo del impacto del microclima urbano local en el consumo de energía de un edificio, en donde toma en cuenta la irradiación, el coeficiente de transferencia de calor, la tasa de infiltración y el coeficiente de rendimiento del sistema de enfriamiento de un edificio (Liu et al., 2019). Según Aparacio-Fernández et. al., las herramientas de modelización como TRNSYS y TRNSFlow se pueden utilizar para mejorar de la tasa de ventilación en edificios residenciales con ventilación natural (Aparacio-Fernández et al., 2019). Shabunko realiza una evaluación comparativa de edificios de viviendas y demuestra la capacidad de los modelos de ingeniería para producir benchmarking y simular las condiciones para la mejora de la eficiencia energética de los edificios utilizando EnergyPlus (Shabunko et al., 2018).

En el ámbito de la optimización, las investigaciones actuales se han enfocado en reducir el consumo de energía en edificaciones basados en la implementación de un sistema de gestión de la energía aplicando el internet de las cosas IoT (Cotrufo & Saloux, 2019), y un conjunto de reglas para controlar los sistemas de aire acondicionado y control de iluminación en los entornos ya construidos (Mataloto et al., 2019). No obstante, en el contexto ecuatoriano la integración real de las renovables en las edificaciones y la gestión descentralizada de flujos es feble, por lo que, es necesario prepararnos para la transición energética.

En esta investigación se pretende simular y optimizar los flujos energéticos a consumir en edificaciones en tiempo real. Para lograr este objetivo son necesarias las siguientes fases: 1) Realizar un levantamiento de la infraestructura. 2) Caracterizar la generación renovable. 3) Caracterizar los usos energéticos 4) Confrontar y simular los usos y la generación renovable. 5) Caracterizar cuantitativamente la intermitencia de la generación renovable. 6) Equilibrar el confort visual (iluminación) y térmico (envolvente del edificio). Finalmente, implementar un algoritmo de optimización en tiempo real para reducir el consumo de energía y maximizar la integración de la generación renovable de un edificio de la Universidad Tecnológica Indoamérica de Ambato.

Objetivo General: Optimizar los flujos energéticos a consumir en una edificación en tiempo real.

Objetivos Específicos:

- Realizar un levantamiento 3D de la infraestructura (térmica, eléctrica, hidráulica, hidrosanitaria, materiales) de una edificación. El caso de estudio será el edificio de la Universidad Tecnológica Indoamérica ubicado en la Av. Manuela Sáenz y Agramonte de Ambato, Ecuador.
- Realizar un levantamiento de las cargas internas (luminarias, equipos eléctricos varios, equipos de climatización, actividad de usuarios, etc.) del edificio de la Universidad Tecnológica Indoamérica ubicado en la Av. Manuela Sáenz y Agramonte de Ambato, Ecuador.
- Implementar un sistema de adquisición de datos de los flujos energéticos a consumir del edificio de la Universidad Tecnológica Indoamérica ubicado en la Av. Manuela Sáenz y Agramonte, Ambato, Ecuador, para el monitoreo e implementación de algoritmos de optimización.
- Caracterizar dinámicamente los usos eléctricos del edificio (horas pico, valles, potencia activa, reactiva, armónicos) con el objetivo de minimizar los consumos con algoritmos de control, e.g., respuesta a la demanda.
- Determinar un modelo matemático que represente las características dinámicas de la generación renovable (solar y eólica), con el objetivo de establecer cuantitativamente de la intermitencia de la generación renovable y maximizar su integración en los usos del edificio conservando los parámetros de calidad de la energía.
- Confrontar los usos eléctricos con el suministro potencial de energía renovable (solar y eólica) que permita la optimización de los flujos

energéticos, e.g., maximizar el ahorro de energía y la integración de la generación renovable en tiempo real.

- Demostrar matemáticamente el rendimiento energético del edificio, optimizando el uso de la iluminación natural en equilibrio con el confort térmico.
- Desarrollar una simulación que permita determinar los flujos energéticos, con el fin de minimizar los usos de energía eléctrica convencional y maximizar la integración de las renovables a través del software EnergyPlus.
- Implementar un sistema de gestión flujos energéticos a través de Internet en la nube para el procesamiento de la información en tiempo real.
- Determinar los costos anuales de energía para acreditar los efectos de la optimización de los flujos energéticos a consumir en edificaciones.

B.2. Metodología

La metodología a ser implementada está compuesta por cuatro fases:

- 1. Fase de fundamentación teórica:** en esta fase se fundamenta teóricamente las diferentes áreas del proyecto: a) arquitectura y materiales, para la descripción de materiales, uso del espacio, dispositivos de sombreado automatizados, sistemas técnicos tales como calefacción, ventilación y aire acondicionado; b) electrónica y electromecánica, para la implementación de sensores, actuadores, protecciones, y demás circuitos electrónicos de sistema de adquisición de datos; c) fundamentación matemática, para la obtención de los modelos de optimización y representación de flujos energéticos; d) sistemas de control, para el diseño de algoritmos de gestión y control que permitan minimizar los consumos en tiempo real; y e) sistemas de comunicación y redes, para la gestión flujos energéticos a través de Internet en la nube para el procesamiento de la información en tiempo real.
- 2. Fase de modelación y simulación:** se identificarán los datos necesarios para la creación de un modelo, la detección proporciona datos de entrada al algoritmo de optimización y se realizarán simulaciones de los flujos energéticos, los cuales permiten al operador la gestión energética del edificio. El modelo energético del edificio incluye la información necesaria para realizar varias simulaciones como: el rendimiento del edificio, iluminación/iluminación diaria, calefacción, ventilación y aire acondicionado, calentamiento de agua de servicio y generación de energía in situ.
- 3. Fase de experimentación:** en esta fase se implementará una plataforma de comunicación entre el operador de la red y el sistema de control de flujos energéticos a través de una Nube Computacional. Se realizarán pruebas para minimizar los consumos y maximizar la integración de las renovables a través de la implementación de los diferentes algoritmos de control y optimización. La optimización en sí misma consiste en un procesamiento

computacional de los datos de entrada para definir el mejor ajuste optimizando tanto el consumo de energía eléctrica y como de térmica, manteniendo al mismo tiempo un nivel de confort aceptable para los usuarios.

- 4. Fase de resultados y validación:** en esta fase se validarán los resultados de forma analítica comparando los resultados de la fase de simulación con la fase de experimentación.

B.3. Resultados esperados e indicadores

Un resultado esencial es la generación de series temporales que permiten optimizar la integración de la energía renovable en el edificio. Este resultado se puede lograr mediante la gestión de los excedentes de generación por medio de sistemas de almacenamiento.

Platearemos estrategias para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación del edificio.

Propondremos reformas y mejoras en elementos estructurales (muros, ventanas, temperaturas superficiales...), así como, también en sus equipos de energía (calefacción y ACS).

Al desarrollar e implementar las renovables en los entornos urbanos construidos (edificios), se reducen drásticamente las emisiones de carbono impulsando el bienestar de los residentes y las economías locales. Por lo que, en esta investigación se determinará la reducción de las emisiones de carbono del edificio. Un resultado que impactará a nivel social en la gestión energética de las edificaciones es la disponibilidad de datos a nivel local. Estas se pueden utilizar para presionar a los responsables de la formulación de políticas a fin de que establezcan una legislación que estimule la instalación de sistemas de captación de energía renovable en edificaciones.

En términos generales se quiere demostrar que el sector de los edificios en entornos urbanos puede alcanzar un nivel de consumo neto de energía cero (net-zero energy building NZEB), esto significa que la cantidad total de energía utilizada por el edificio anualmente es aproximadamente igual a la cantidad de energía renovable creada en el lugar.

Con el fin de acreditar la optimización del consumo de la edificación se presenta una comparación entre la situación actual y una simulación del escenario futuro con energías renovables.

Finalmente, en esta investigación se generará una base de datos de las variables eléctricas y térmicas del edificio UTI. Para realizar la recolección de datos se desarrollarán prototipos para la adquisición y control en tiempo real. El software desarrollado y los modelos matemáticos se escribirán en código abierto (Opensource). Las publicaciones y divulgaciones derivadas de la investigación se

realizarán en temas referentes a la integración de sistemas descentralizados y respuesta a la demanda de edificaciones en revistas Scopus.

B.4. Alcance o Cobertura de Ejecución del Proyecto (Seleccione únicamente un tipo de cobertura)

	Internacional	
	Nacional	X
	Provincial	
	Local	

B.5. Vinculación con la Comunidad.

La implementación del proyecto busca la sostenibilidad energética de edificaciones a largo plazo, por lo que, será pieza clave en el nuevo paradigma de la gestión de la energía en la transición energética de Ecuador. La gestión de la energía debe convertirse en un hábito de la sociedad a nivel de usuarios residenciales, por lo que, los sistemas de control y optimización de flujos estarán siempre en continua evolución e integración. En una segunda etapa se puede extrapolar a sistemas residenciales e industriales, estos en conjunto pueden llegar a conformar una Planta de Generación Virtual en el Sistema Nacional Interconectado de Ecuador.

B.6. Plan de publicaciones:

NOMBRE TENTATIVO DE LA PUBLICACIÓN/PATENTE	NOMBRE TENTATIVO DE REVISTA/EDITORIAL	NOMBRE DE LA BASE DE INDEXACIÓN DE LA REVISTA	SJR/IMPACT FACTOR Y CUALTIL DE LA REVISTA	MES DE ENVÍO
Optimización de flujos energéticos en edificaciones	Energies	Scopus	SJR 2019 0.635 (Q2)	Octubre de 2021
Evaluación de la integración de las renovables a través del software EnergyPlus.	Sustainability	Scopus	SJR 2019 0.581 (Q2)	Octubre de 2021

B.7. Cronograma

Actividades	MESES 2019-2020											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic
Levantamiento de la infraestructura del edificio UTI (envolvente del edificio, planos eléctricos, hidráulicos, térmicos e hidrosanitarios)	X											
Adquisición de datos meteorológicos (diseño e implementación de analizadores de redes, sensores y estación meteorológica)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Caracterización de la generación renovable.					X	X	X	X	X			
Caracterización de los usos eléctricos (adquisición de datos en intervalos de 15 min)	X	X	X	X	X							
Confrontación generación- usos eléctricos. (Creación de series temporales)								X	X	X		
Análisis de datos y simulaciones. (Estudio del balance neto)										X	X	
Propuestas de nuevos escenarios											X	
Presentación de resultados (artículos, etc)								X	X	X	X	X

B.8. Literatura citada

- Aparicio-Fernández, C., Vivancos, J.-L., Cosar-Jorda, P., & Buswell, A. R. (2019). Energy Modelling and Calibration of Building Simulations: A Case Study of a Domestic Building with Natural Ventilation. In *Energies* (Vol. 12, Issue 17). <https://doi.org/10.3390/en12173360>
- Baležentis, T., & Štreimikienė, D. (2019). Sustainability in the Electricity Sector through Advanced Technologies: Energy Mix Transition and Smart Grid Technology in China. In *Energies* (Vol. 12, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/en12061142>
- Ballarini, I., De Luca, G., Paragamyran, A., Pellegrino, A., & Corrado, V. (2019). Transformation of an Office Building into a Nearly Zero Energy Building (nZEB): Implications for Thermal and Visual Comfort and Energy Performance. In *Energies* (Vol. 12, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/en12050895>
- Bartholdsen, H.-K., Eidens, A., Löffler, K., Seehaus, F., Wejda, F., Burandt, T., Oei, P.-Y., Kemfert, C., & Hirschhausen, V. C. (2019). Pathways for Germany's Low-

- Carbon Energy Transformation Towards 2050. In *Energies* (Vol. 12, Issue 15). <https://doi.org/10.3390/en12152988>
- Basit, A., Ahmad, T., Yar Ali, A., Ullah, K., Mufti, G., & Hansen, D. A. (2019). Flexible Modern Power System: Real-Time Power Balancing through Load and Wind Power. In *Energies* (Vol. 12, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/en12091710>
- Brown, D., Hall, S., & Davis, M. E. (2019). Prosumers in the post subsidy era: an exploration of new prosumer business models in the UK. *Energy Policy*, 135, 110984. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110984>
- CENACE. (2017). *Informe Anual 2017, Operador Nacional de Electricidad de Ecuador*.
- CENACE. (2018). *Informe Anual 2018, Operador Nacional de Electricidad de Ecuador*.
- Correa-Florez, A. C., Michiorri, A., & Kariniotakis, G. (2019). Comparative Analysis of Adjustable Robust Optimization Alternatives for the Participation of Aggregated Residential Prosumers in Electricity Markets. In *Energies* (Vol. 12, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/en12061019>
- Cotrufo, N., & Saloux, E. (2019). Artificial Intelligence for Advanced Building Control: Energy and GHG Savings from a Case Study. In *Proceedings* (Vol. 23, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/proceedings2019023007>
- Droege, P. (2018). *Urban Energy Transition: Renewable Strategies for Cities and Regions*. Elsevier Science.
- Eicker, U. (2018). *Urban Energy Systems for Low-Carbon Cities*. Elsevier Science.
- Escrivá-Escrivá, G., Roldán-Blay, C., Roldán-Porta, C., & Serrano-Guerrero, X. (2019). Occasional Energy Reviews from an External Expert Help to Reduce Building Energy Consumption at a Reduced Cost. In *Energies* (Vol. 12, Issue 15). <https://doi.org/10.3390/en12152929>
- Faia, R., Faria, P., Vale, Z., & Spinola, J. (2019). Demand Response Optimization Using Particle Swarm Algorithm Considering Optimum Battery Energy Storage Schedule in a Residential House. In *Energies* (Vol. 12, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/en12091645>
- Faria, P., & Vale, Z. (2019). A Demand Response Approach to Scheduling Constrained Load Shifting. In *Energies* (Vol. 12, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/en12091752>
- Frantzeskaki, N., Broto, V. C., Coenen, L., & Loorbach, D. (2017). *Urban Sustainability Transitions*. Taylor & Francis.
- Hayat, H., Griffiths, T., Brennan, D., Lewis, P. R., Barclay, M., Weirman, C., Philip, B., & Searle, R. J. (2019). The State-of-the-Art of Sensors and Environmental Monitoring Technologies in Buildings. In *Sensors* (Vol. 19, Issue 17). <https://doi.org/10.3390/s19173648>
- Iyer-Raniga, U. (2019). Zero Energy in the Built Environment: A Holistic Understanding. In *Applied Sciences* (Vol. 9, Issue 16). <https://doi.org/10.3390/app9163375>
- Keirstead, J., & Shah, N. (2013). *Urban Energy Systems: An Integrated Approach* (1st ed.). Routledge.
- Korjenic, A., & Bednar, T. (2012). Validation and evaluation of total energy use in office buildings: A case study. *Automation in Construction*, 23, 64–70. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.01.001>
- Lapinskienė, V., Motuzienė, V., & Rogoža, A. (2019). The Assessment of Building Energy Functionality in the Integrated Building Design. In *Proceedings* (Vol. 16,

- Issue 1). <https://doi.org/10.3390/proceedings2019016053>
- Liu, J., Heidarinejad, M., Nikkho, K. S., Mattise, W. N., & Srebric, J. (2019). Quantifying Impacts of Urban Microclimate on a Building Energy Consumption—A Case Study. In *Sustainability* (Vol. 11, Issue 18). <https://doi.org/10.3390/su11184921>
- Luque-Ayala, A., Marvin, S., & Bulkeley, H. (2018). *Rethinking Urban Transitions: Politics in the Low Carbon City*. Taylor & Francis.
- Mataloto, B., Ferreira, C. J., & Cruz, N. (2019). LoBEMS—IOT for Building and Energy Management Systems. In *Electronics* (Vol. 8, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/electronics8070763>
- Milčiuvienė, S., Kiršienė, J., Doheijo, E., Urbonas, R., & Milčius, D. (2019). The Role of Renewable Energy Prosumers in Implementing Energy Justice Theory. In *Sustainability* (Vol. 11, Issue 19). <https://doi.org/10.3390/su11195286>
- Miller, C. (2019). More Buildings Make More Generalizable Models—Benchmarking Prediction Methods on Open Electrical Meter Data. In *Machine Learning and Knowledge Extraction* (Vol. 1, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/make1030056>
- Petri, I., Kubicki, S., Rezgui, Y., Guerriero, A., & Li, H. (2017). Optimizing Energy Efficiency in Operating Built Environment Assets through Building Information Modeling: A Case Study. In *Energies* (Vol. 10, Issue 8). <https://doi.org/10.3390/en10081167>
- Pisello, A. L., Bobker, M., & Cotana, F. (2012). A Building Energy Efficiency Optimization Method by Evaluating the Effective Thermal Zones Occupancy. *Energies*, 5(12), 5257–5278. <https://doi.org/10.3390/en5125257>
- Ponds, T. K., Arefi, A., Sayigh, A., & Ledwich, G. (2018). Aggregator of Demand Response for Renewable Integration and Customer Engagement: Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats. In *Energies* (Vol. 11, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/en11092391>
- Raunbak, M., Zeyer, T., Zhu, K., & Greiner, M. (2017). Principal Mismatch Patterns Across a Simplified Highly Renewable European Electricity Network. In *Energies* (Vol. 10, Issue 12). <https://doi.org/10.3390/en10121934>
- Reynolds, J., Rezgui, Y., Kwan, A., & Piriou, S. (2018). A zone-level, building energy optimisation combining an artificial neural network, a genetic algorithm, and model predictive control. *Energy*, 151, 729–739. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.113>
- Runge, J., & Zmeureanu, R. (2019). Forecasting Energy Use in Buildings Using Artificial Neural Networks: A Review. In *Energies* (Vol. 12, Issue 17). <https://doi.org/10.3390/en12173254>
- Shabunko, V., Lim, C. M., & Mathew, S. (2018). EnergyPlus models for the benchmarking of residential buildings in Brunei Darussalam. *Energy and Buildings*, 169, 507–516. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.039>
- Sperstad, B. I., & Korpås, M. (2019). Energy Storage Scheduling in Distribution Systems Considering Wind and Photovoltaic Generation Uncertainties. In *Energies* (Vol. 12, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/en12071231>
- Urban, F. (2014). *Low Carbon Transitions for Developing Countries*. Taylor & Francis.

C. PRESUPUESTO

- **Monto total:** USD \$ 14573,12
- **Monto solicitado:** USD \$ 5000

C.1. Presupuesto valorado

RUBROS VALORADOS			
Ítem	Valor Unitario	Valor Total	Observaciones
	17,55	8424	
	11,97	1149,12	
Total, USD \$		9573,12	

C.2. Presupuesto solicitado

Item o actividad	Desembolsos mensuales 2022												Valor total	Observaciones
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
Recursos humanos, <i>investigador externo</i>					500						500		1000	(ingeniero dibujante vectorial y traductor)
Equipos <i>Prototipos de adquisición de datos, tarjetas, componentes electrónicos, impresión 3D</i>					1500								1500	
Insumos <i>Cables, bases, terminales, correderas, suelda, tornillería, empaques</i>					400								400	
Consultorías														
Viajes					100								100	(visitas técnicas)
<i>publicaciones</i>						1000						1000	2000	2 publicaciones presentadas en agosto.
Total, USD \$													5000	

(c.1) Total Monto Valorado, USD \$	9573,12
(c.2) Total Monto Solicitado, USD \$	5000
(c.1+c.2) Monto Total del proyecto, USD \$	14573,12

D. FIRMAS Y SELLOS DE RESPONSABILIDAD Y AVAL