

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS

UNIDAD DE TITULACIÓN

**EVALUACIÓN ENERGÉTICA ELÉCTRICA DEL CAMPUS
POLITÉCNICO JOSÉ RUBÉN ORELLANA RICAURTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MAGÍSTER EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS MENCIÓN OPERACIONES
DE SECTORES ESTRATÉGICOS**

IVÁN PATRICIO PAZMIÑO ORDÓÑEZ

ivan.pazmino@uleam.edu.ec

Director: DR. HÉCTOR OSWALDO VITERI SALAZAR

hector.viteri@epn.edu.ec

2022

APROBACIÓN DEL DIRECTOR

Como director del trabajo de titulación EVALUACIÓN ENERGÉTICA ELÉCTRICA DEL CAMPUS POLITÉCNICO JOSÉ RUBÉN ORELLANA RICAURTE, desarrollado por Iván Patricio Pazmiño Ordóñez, estudiante de la Maestría en Administración de Empresas Mención Operaciones de Sectores Estratégicos, habiendo supervisado la realización de este trabajo y realizado las correcciones correspondientes, doy por aprobada la redacción final del documento escrito para que prosiga con los trámites correspondientes a la sustentación de la Defensa oral.

**DR. HÉCTOR OSWALDO VITERI
SALAZAR
DIRECTOR**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Iván Patricio Pazmiño Ordóñez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Iván Patricio Pazmiño Ordóñez

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Héctor Viteri Salazar, docente de la Escuela Politécnica Nacional y tutor de este trabajo, por su valiosa contribución en este proceso.

Al Ing. Edwin Ponce Minaya M.Sc, director de la Carrera de Electricidad de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, colega de docencia, y gran amigo, por su valioso apoyo durante los últimos años.

ÍNDICE DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABLAS	ii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.2 OBJETIVO GENERAL	3
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4 HIPÓTESIS.....	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 DESARROLLO SOSTENIBLE Y LOS ODS'S	4
2.2 CAMPUS SUSTENTABLE.....	7
2.2.1 Breve reseña histórica.	7
2.2.2 Definición	8
2.3 PRÁCTICAS ORIENTADAS A CAMPUS SUSTENTABLES	10
2.4 EL RANKING MUNDIAL UI GREENMETRIC	13
2.4.1 Entorno e infraestructura.....	15
2.4.2 Energía y cambio climático	16
2.4.3 Residuos.....	16
2.4.4 Agua.....	17
2.4.5 Transporte.....	17
2.4.6 Educación e investigación.....	18
2.5 SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL CONTEXTO DE UN CAMPUS SUSTENTABLE	18

3. METODOLOGÍA	20
3.1 ENFOQUE, TIPO DE INVESTIGACIÓN Y UNIDAD EXPERIMENTAL	20
3.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	21
3.3 ANÁLISIS ENERGÉTICO EN EL CONTEXTO DE UN CAMPUS SUSTENTABLE.	21
4. RESULTADOS.....	26
4.1 ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN EMPLEADOS EN MATERIA DE CAMPUS SUSTENTABLES.....	26
4.2 AVANCES DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL EN MATERIA DE CAMPUS SUSTENTABLE	27
4.3 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA ENERGÉTICO ELÉCTRICO DEL CAMPUS RUBÉN ORELLANA DE LA EPN DESDE LA PERSPECTIVA DE INTERÉS DE UN CAMPUS SUSTENTABLE.....	29
4.3.1 Puesta en marcha de edificios inteligentes	31
4.3.2 Sistemas de generación renovable instalados en el campus universitario 31	
4.3.3 Energía neta consumida dividida para la población del campus (kWh por cada persona).	33
4.3.4 La relación entre la producción de energía renovable respecto al uso neto de energía en un año.	37
4.4 PROPUESTA DE MEJORA PARA EL CUMPLIMIENTO DE INDICADORES ENERGÉTICOS ENMARCADO EN EL CONTEXTO DE UN CAMPUS SUSTENTABLE.	38
4.4.1 Puesta en marcha de edificios inteligentes	38
4.4.2 Sistemas de generación renovable instalados en el campus universitario 39	
4.4.4 La relación entre la producción de energía renovable respecto al uso neto de energía en un año.	41

5. CONCLUSIONES	43
6. RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXOS	55
ANEXO I.....	55
ANEXO II.....	56
ANEXO III.....	59
ANEXO IV	61
ANEXO V	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Número de universidades y países que han adoptado la iniciativa UI GreenMetric. Fuente: (Universitas_Indonesia 2020).	13
Figura 2 Relación de UI GreenMetric con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: (Universitas_Indonesia 2020).....	14
Figura 3 Sistema de generación fotovoltaica instalado en el parqueadero de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Fuente: Elaboración propia.....	32
Figura 4 Sistema de generación fotovoltaica instalado en los predios adyacentes al edificio administrativo. Fuente: Elaboración propia.	33
Figura 5 Curva de demanda (semanal) del Alimentador 12 A. Fuente: (Quishpe 2020).	35
Figura 6 Curva de demanda (semanal) del Alimentador 32 E. Fuente: (Quishpe 2020).	35
Figura 7 Curva de demanda diaria del alimentador 12 A. Fuente: (Quishpe 2020)	36
Figura 8 Curva de demanda diaria del alimentador 32E. Fuente: (Quishpe 2020).	36
Figura 9 Ubicación en el mapa de los parqueaderos de la EPN como sitio propuesto para la instalación del sistema de generación fotovoltaico. Fuente: (Quishpe 2020).....	40
Figura 10 Energía generada por la instalación fotovoltaica. Fuente: (Quishpe 2020)	41
Figura 11 – Conexión del analizador de redes en el lado de baja tensión del transformador que alimenta el edificio de relación con el medio externo. Fuente: (Fabricio et al. 2021).	61
Figura 12 – Ubicación en el plano de las posibles zonas para el emplazamiento del sistema de generación fotovoltaico Fuente: (Quishpe 2020).....	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Categoría usadas en el Ranking UI GreenMetric y su ponderación. Fuente: (UI GreenMetric 2022).....	15
Tabla 2 Ponderación de criterios asociados al análisis energético según UI GreenMetric. Fuente: Elaboración propia.....	22
Tabla 3 Ponderación de criterios asociados al análisis energético según UI GreenMetric. Fuente: elaboración propia.	24
Tabla 4 Lineamientos orientados a un Campus Sustentable en materia de energía establecidos por UI GreenMetric y Consejo Politécnico. Fuente: elaboración propia.	30
Tabla 5 Resumen de inventario de alimentadores que proveen energía a la Escuela Politécnica Nacional con sus respectivas cargas. Fuente: Elaboración propia.	34
Tabla 6 Situación actual del sistema estudiado en función de la métrica establecida por UI GreenMetric. Fuente: elaboración propia.	37
Tabla 7 Situación proyectada del sistema estudiado en función de la métrica establecida por UI GreenMetric. Fuente: elaboración propia.	42
Tabla 8 Alimentadores que abastecen de energía al Campus JRO de la Escuela Politécnica Nacional (Fabricio et al. 2021).	55
Tabla 9 Cargas asociadas al alimentador primario 12A (Fabricio et al. 2021). ...	56
Tabla 10 Cargas asociadas al alimentador primario 32E (Fabricio et al. 2021). .	59
Tabla 11 Superficies disponibles y sus dimensiones (Quishpe 2020).....	63
Tabla 12 Superficies disponibles y sus dimensiones. Fuente:(Quishpe 2020).....	64
Tabla 13 Potencia disponible de generación fotovoltaica (Quishpe 2020). Fuente:(Quishpe 2020).	65
Tabla 14 Valores (rango) para la selección de la potencia nominal del inversor. Fuente:(Quishpe 2020).	65
Tabla 15 Potencia nominal del inversor de cada lote. Fuente:(Quishpe 2020). ...	66

Tabla 16 Arreglo fotovoltaico de cada lote y cantidad total de paneles. Fuente:(Quishpe 2020).	66
Tabla 17 Resumen de los sistemas de generación fotovoltaica propuestos. Fuente:(Quishpe 2020).	67
Tabla 18 Energía diaria generada por el sistema fotovoltaico propuesto. Fuente:(Quishpe 2020).	67
Tabla 19 Energía generada por el sistema fotovoltaico propuesto. Fuente:(Quishpe 2020).	68

RESUMEN

El trabajo a continuación presenta el análisis de la situación actual del Campus José Rubén Orellana (de aquí en adelante señalado como JRO) en términos energético-eléctricos en el contexto de lo requerido en una institución de educación superior para que ésta pueda ser considerada como un campus sustentable.

Para este fin, en el capítulo primero se establecen las preguntas de investigación, los objetivos y la hipótesis del presente trabajo. Acto seguido, en el capítulo segundo, se plantea el marco teórico, en donde se establece el fundamento conceptual vinculado al estudio.

En el capítulo tercero se plantea la metodología, enfocándose en el análisis energético pertinente para un campus sustentable. En este sentido, se han adoptado los lineamientos establecidos por UI GreenMetric World University Ranking, el cual es una iniciativa de la Universidad de Indonesia lanzada en el 2010, y que en la actualidad ha sido adoptada por más de 950 universidades y más de 80 países a escala global.

En función de estos lineamientos, en el capítulo cuarto, para el análisis de la situación actual de este caso de estudio se consideran cuatro indicadores, los cuales están estrechamente vinculados al tema en cuestión. Estos son: puesta en marcha de edificios inteligentes, sistemas de generación renovable instalados en el campus universitario, energía neta consumida dividida para la población del campus (kWh por cada persona) y la relación entre la producción de energía renovable respecto al uso neto de energía en un año.

En base a los hallazgos alcanzados luego del análisis de la situación actual en función de los indicadores antes detallados, se procede a realizar una propuesta que potencialmente puede ser adoptada para que, luego de su eventual cumplimiento, la institución pueda mejorarlos.

Palabras clave: campus sustentable, sistema de gestión de energía, eficiencia energética.

ABSTRACT

This work presents the analysis of the current situation of the José Rubén Orellana Campus in energy-electrical terms in the context of what is required in a higher education institution so that it can be considered a sustainable campus.

So, in the first chapter, the objectives, and the hypothesis of this work are established. Then, in the second chapter, the theoretical framework is presented, where the conceptual foundation linked to the study is established.

In the third chapter, the methodology is established, focusing on the relevant energy analysis for a sustainable campus. In this sense, the guidelines established by UI GreenMetric World University Ranking have been adopted, which is an initiative of the University of Indonesia launched in 2010, which has currently been adopted by more than 950 universities and more than 80 countries.

Based on these guidelines, in the fourth chapter, for the analysis of the current situation of this case study, four indicators are adopted, which are closely linked to this subject. These are: implementation of smart buildings, renewable energy sources on campus, the total electricity consumption divided by the population of the campus, and the proportion of renewable energy generation divided by the total energy use per year.

Based on the findings after the analysis of the current situation based on the parameters detailed above, a proposal is made that can potentially be adopted so that, after its eventual fulfillment, these indicators can be improved.

Keywords: sustainable campus, energy management system, energy efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del reconocimiento de la importancia del ambiente para el bienestar humano, tanto países desarrollados como en vías de desarrollo, han adoptado el modelo de desarrollo comúnmente conocido como el “desarrollo sostenible” (CEPAL 2022a). Ecuador no es una excepción.

Este concepto fue utilizado formalmente por primera vez en el denominado Informe de Brundtland (ONU 2022c), en el que se define como el desarrollo que satisface las necesidades de la generación actual sin comprometer la capacidad para satisfacer las necesidades de las generaciones futuras (Keeble 1988). Además, invocaba el compromiso y responsabilidad tanto de actores institucionales, económicos, como de la sociedad civil, a contribuir con acciones hacia esta meta.

En este contexto, también las instituciones de educación superior a nivel mundial han venido implementado acciones que contribuyan a lograr este objetivo. Tal es la importancia de este tema que, en 1990, firmaron alrededor de 300 administraciones universitarias de cuarenta países la Declaración de Tallories (Enríquez, Ortiz, and Calles 2018), que consiste en un plan de 10 puntos de acción para la incorporación de literatura asociada a sustentabilidad y medio ambiente en ámbitos como la enseñanza, la investigación y operaciones de colegios y universidades, lo que evidencia que esta iniciativa no es nueva, sino que por el contrario, a nivel mundial tiene una trayectoria de algunas décadas.

En los últimos años, alrededor del mundo, se ha incrementado el número de instituciones de educación superior que han adoptado el concepto de campus sustentable (Cabrera and Castro 2020), pasando de 95 universidades distribuidas en 35 países en 2010 a 256 universidades distribuidas en 80 países en 2021 (Universitas_Indonesia 2020), teniendo ejemplos en América Latina (Leal Filho et al. 2021) en países como Brasil (da Silva et al. 2018), México (Juan Pérez, Montesillo Cedillo, and García López n.d.) , Argentina (Álvarez et al. 2019) y Chile (Cáceres and Sion 2021), por mencionar algunos.

En el escenario actual, se puede constatar que los problemas de sustentabilidad en instituciones de educación superior han traído consigo un incremento de los niveles

de atención, tanto de responsables políticos como del público en general (Menon and Suresh 2020).

Es pertinente indicar que una característica fundamental de un campus sustentable es que sea saludable ambientalmente, de la mano con una economía próspera a mediante la conservación de la energía y recursos en general, y debe propender a la reducción de desechos lo que alcanzará con una administración ambiental eficiente (Mohammed, Ukai, and Hall 2022).

La visión de desarrollo sustentable en educación superior es de una sociedad donde todos tengan la oportunidad de beneficiarse de una educación de calidad y aprender los comportamientos, valores y estilo de vida necesarios para un futuro sustentable y para una positiva transformación social (Pereira Ribeiro et al. 2021).

En el caso de la Escuela Politécnica Nacional, el 13 de octubre de 2016 el Consejo Politécnico, mediante la Resolución Administrativa nº015-2016 (EPN 2016a), resolvió la conformación del Comité de Sustentabilidad Ambiental del Campus, como un primer paso hacia la Puesta en marcha de políticas de sustentabilidad. Posteriormente, en febrero de 2017, el Consejo aprobó las directrices marco de políticas ambientales del campus, no obstante, hasta el momento no se han adoptado ni implementado medidas de gestión socioambiental que operativicen la transición hacia una universidad sustentable.

En este sentido, el primer paso reside en la realización de un diagnóstico de la situación actual de su campus universitario, para a partir de esa línea base poder proponer acciones. La presente investigación se enmarca en este primer esfuerzo de evaluación, centrada en el ámbito eléctrico energético.

1.1 Preguntas de investigación

¿Cuáles son los sistemas de gestión empleados en materia de campus sustentables?

¿Qué se ha hecho previamente en la Escuela Politécnica Nacional en cuanto al uso de la energía eléctrica en el contexto de un campus sustentable?

¿Qué medidas deberían plantearse para mejorar los indicadores en materia energética que le permitirán al Campus JRO de la Escuela Politécnica Nacional ser considerada como un campus sustentable?

1.2 Objetivo general¹

Realizar un diagnóstico energético eléctrico de la situación actual de la Escuela Politécnica Nacional en el contexto de lo requerido para un campus sustentable.

1.3 Objetivos específicos

Analizar cuáles son los sistemas de gestión empleados en materia de campus sustentables.

Realizar una revisión documental de los avances de la Escuela Politécnica Nacional en materia de campus sustentable

Realizar un análisis de la situación actual del sistema energético eléctrico del Campus Rubén Orellana de la EPN desde la perspectiva de interés de un campus sustentable.

Plantear medidas que contribuyan a mejorar el cumplimiento de indicadores energéticos enmarcado en el contexto de un campus sustentable.

1.4 Hipótesis

El presente trabajo se plantea la estrategia de descubrimiento, donde se parte de preguntas (y no de hipótesis) a contestar a través de la investigación, las mismas que fueron planteadas en el apartado 1.1.

¹ Con la finalidad de evidenciar de mejor manera los hallazgos del presente trabajo de titulación, en coordinación con el director de este proyecto, se han editado ligeramente los objetivos respecto a los indicados en la presentación del plan de tesis.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Desarrollo sostenible y los ODS's

El desarrollo sostenible se define como “la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (ONU 1987).

Este principio se ha convertido en el rector para el desarrollo global a largo plazo y propende alcanzar de manera equilibrada, el desarrollo económico, social y la protección del medio ambiente (UN 2022b).

Este concepto ha ido evolucionando desde sus inicios. Entre los eventos más destacados figura la denominada Cumbre de la Tierra de Río, en 1992, en Río de Janeiro, Brasil, en donde se discutieron los medios para poner en práctica el desarrollo sostenible (Estenssoro 2020).

En el año 2002 se lleva a cabo la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (ONU 2022b), donde se aprobó el Plan de Aplicación de Johannesburgo. Este plan se sustentó en los progresos alcanzados y en las lecciones aprendidas desde la Cumbre de la Tierra, con un enfoque más específico, medidas concretas y metas cuantificables y con objetivos y plazos definidos.

Luego, en el 2012, los líderes mundiales se reunieron de nuevo en Río de Janeiro, en la denominada “Conferencia Rio+20” (CEPAL 2022b), la cual consolidó el proceso adoptar un nuevo cuerpo de Objetivos de Desarrollo Sostenible. Esto permitió garantizar el compromiso político con el desarrollo sostenible, así como evaluar el progreso de su aplicación deficiente en el cumplimiento de los compromisos ya acordados, y asumir nuevos desafíos.

Y no es sino hasta el 12 de diciembre de 2015, en París, cuando para tratar el tema del cambio climático y sus impactos adversos, los líderes de los diferentes países asistentes en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21), establecen objetivos a largo plazo como guía para todas las naciones (MITECO 2022), los cuales fueron:

Disminuir de manera significativa las emisiones de gases de efecto invernadero para restringir el incremento de la temperatura global en este siglo a 2 °C.

Revisar los compromisos adquiridos por los países cada cinco años; y

Dar financiamiento a los países en desarrollo para que puedan hacer frente al cambio climático, y mejorar su capacidad de adaptación a los efectos del cambio climático.

Además, incluye compromisos de los países para disminuir sus emisiones y cooperar para adaptarse a los impactos del cambio climático, así como llamados a estos países para que aumenten sus compromisos.

El Acuerdo de París ofrece un marco duradero con afán de dirigir el esfuerzo global ya que marca el inicio de un cambio hacia un mundo con cero emisiones, y su puesta en práctica es esencial para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible, dado que ofrece una hoja de ruta para reducir las emisiones y aumentar la resiliencia al clima.

En este contexto es imposible no mencionar a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los que fueron asumidos por Naciones Unidas en el año 2015 como un llamado global para dar fin a la pobreza, cuidar el planeta y asegurar que para el 2030 todas las personas tengan prosperidad y paz (ONU 2022a).

Los 17 ODS's son articulados y reconocen que la acción en una zona afectará los resultados en otras, y que el desarrollo, para que pueda ser considerado como tal, debe equilibrar la sostenibilidad en las esferas social, económica y ambiental.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son (UN 2022c):

ODS 1.- Fin de la Pobreza, donde se plantea acabar con la pobreza en todas sus formas en el mundo.

ODS 2.- Hambre Cero, que tiene por objetivo poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, la mejora de la nutrición así como promover la agricultura sostenible.

ODS 3.- Salud y Bienestar, con lo que se busca garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.

ODS 4.- Educación de calidad, con lo que se busca garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.

ODS 5.- Igualdad de Género, que pretende alcanzar la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas.

ODS 6.- Agua y Saneamiento, con el objetivo de asegurar la disponibilidad del recurso, su gestión sostenible así como el saneamiento para todas el mundo.

ODS 7.- Energía Asequible y No Contaminante para permitir energía moderna, asequible, segura, y sostenible para todos.

ODS 8.- Trabajo decente y crecimiento económico, para fomentar el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, así como el empleo pleno y productivo para todos.

ODS 9.- Industria, Innovación e Infraestructura, para promover la construcción de infraestructuras resilientes, así como la industrialización inclusiva y sostenible e innovadora para fomentar el desarrollo económico y el bienestar de la humanidad.

ODS 10.- Reducción de las desigualdades, en y entre los países.

ODS 11.- Ciudades y Comunidades sostenibles, para lograr los asentamientos humanos sean sostenibles, inclusivos, seguros, y resilientes

ODS 12.- Producción y consumo responsables, para garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles para reducir a la mitad el desperdicio mundial de alimentos.

ODS 13.- Acción por el clima, para adoptar medidas urgentes contra el cambio climático mediante la sensibilización y educación de las personas de la mano de la negociación de acuerdos y medidas nacionales e internacionales.

ODS 14.- Vida submarina, para conservar y utilizarla en forma sostenible.

ODS 15.- Vida de ecosistemas terrestres, para proteger los bosques y luchar contra la desertificación.

ODS 16.- Paz, justicia e instituciones sólidas, para promover mejor acceso a la justicia y sociedades pacíficas.

ODS 17.- Alianzas para lograr los objetivos, para fortalecer la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

En el contexto del presente trabajo resulta menester enfocar la atención en el ODS 7, es decir, que una de las metas para Naciones Unidas para el 2030 tiene profunda relación con garantizar energía accesible y no contaminante, por lo que resulta de suma importancia aterrizar este criterio en la realidad de los ecosistemas universitarios, con lo que surge el concepto de campus sustentable, como se detalla a continuación.

2.2 Campus sustentable

2.2.1 Breve reseña histórica.

Como se ha mencionado anteriormente, el concepto de sustentabilidad fue desarrollado por la Comisión Mundial en Desarrollo y Ambiente (Borowy 2021), en el denominado Reporte de Brundtland, sin embargo, es en el año de 1972, en la Declaración de Estocolmo, donde por primera vez se hace referencia a la sustentabilidad en la educación superior, donde reconoció la interdependencia entre la humanidad y el ambiente y sugirió formas para alcanzar la sustentabilidad ambiental en este ámbito educativo (Arruti and Enríquez 2021).

En el año de 1990, aproximadamente 300 administraciones universitarias de 40 países firmaron la Declaración de Tallories (Zutshi, Creed, and Connelly 2018), que es un plan de acción (de 10 puntos) para implementar los principios de sustentabilidad y educación ambiental en la enseñanza, investigación, operación y divulgación en universidades y colegios.

En el año de 1991, en Halifax, Canadá, nuevamente administradores universitarios se reunieron para tratar la degradación del ambiente a nivel global y cómo es que influye la pobreza en este proceso (Yang, Wang, and Li 2022).

En el año de 1993, durante la Declaración de Swansea, representante de aproximadamente 400 universidades de 47 diferentes países se focalizaron en hallar vías mediante las cuales las universidades integrantes de la Asociación de Universidades de la Commonwealth puedan asignar sus recursos para responder

apropiadamente al desafío de hallar el balance entre la búsqueda permanente de la sociedad por alcanzar desarrollo económico y tecnológico sin descuidar la preservación ambiental (Gomes 2022).

En las últimas décadas se ha incrementado considerablemente el número de universidades que han tomado un enfoque más responsable en la administración de su desempeño y mejora en temas ambientales (Greenland et al. 2022), lo que se ha podido evidenciar en el interés de las instituciones de educación superior en figurar en el ranking del evaluador internacional UI GreenMetric, el cual es especialista en campus sustentables y pondera aspectos como agua, residuos, energía entre otras, pasando de 95 universidades distribuidas en 35 países en 2010 a 256 universidades distribuidas en 80 países en 2021 (Universitas_Indonesia 2020).

Aquello que evidencia que este accionar, lejos de ser exclusivo de una región en particular, ha tomado protagonismo en prácticamente todos los continentes del globo donde existen recintos universitarios, es decir, Europa, Asia, América, África y Australia (Heath Moncada 2021; Mawonde and Togo 2019; Mendoza, Gallego-Schmid, and Azapagic 2019; Soltani et al. 2019; Xiong and Mok 2020)

Como resultado de este creciente compromiso, en la actualidad numerosas universidades, continúan sumándose al compromiso de la planificación y el desarrollo de proyectos para incorporar la sustentabilidad en sus sistemas, mismas que están alineadas a los conceptos de sustentabilidad de los administradores universitarios, debido a que este concepto presenta diferentes interpretaciones de acuerdo con los actores que están implicados.

2.2.2 Definición

Previo a definir qué es un campus sustentable conviene abordar conceptos como sustentabilidad y el desarrollo sustentable. En este sentido, el término sustentabilidad se orienta a fortalecer los fundamentos de ecología, economía y sociedad, para la presente y las futuras generaciones, es decir, sustentabilidad es la condición, y el proceso que se debe llevar a cabo para alcanzar dicha condición y mantenerla es el desarrollo sustentable, para que el estado actual del ambiente

sea favorable, asegurando calidad de vida a las generaciones venideras (Ruggerio 2021).

En torno a este concepto central, autores como (FSU 2022) manifiestan que la sostenibilidad se trata de trabajar en colaboración para crear un mundo donde todos puedan prosperar, por lo que un campus sostenible define la sostenibilidad desde una perspectiva inclusiva, ya que abarca la ecología, la salud, la justicia social y medios de vida más seguros para todas las generaciones.

Otros autores como (Adam 2022) sostiene que un campus sostenible es aquel que ha logrado una reducción de su huella ecológica mucho más allá de los estándares y lo ha hecho con un espíritu institucional que aboga por la justicia, la paz, el respeto y la acción para proteger la integridad de los sistemas naturales y demuestra una voluntad abierta de compartir esta información más allá de sus propios muros, donde sea que se necesite.

En este contexto queda claro que un campus sustentable es un ambiente saludable, con una próspera economía basada en la conservación de la energía y en general de los recursos, favoreciendo la reducción de desechos y basada en una administración ambiental eficiente, la que debe promover equidad y justicia social en sus actividades, y llevar esos valores a la comunidad, a nivel local y global.

De la mano, se debe tener en cuenta que las universidades en la actualidad pueden ser consideradas como pequeñas ciudades, debido, entre otros motivos a las considerables dimensiones de sus campus, su población significativa, y sus variadas actividades que en su conjunto tienen impacto directo e indirecto en el ambiente, en este sentido, por mencionar algunos casos enmarcados en el contexto ecuatoriano está la Universidad Central del Ecuador, con cerca de 45000 estudiantes (Cadena Vela and Enríquez Reyes 2017), a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí con 21000 (ULEAM 2019) y la Escuela Politécnica Nacional con cerca de 10000 (EPN 2022) a los que se suman los cerca de 3000 estudiantes vinculados al Centro de Educación Continua que no son parte del cuerpo estudiantil politécnico.

En resumen, un campus sustentable es la respuesta universitaria ante el desafío del desarrollo sustentable, es por lo que los campus universitarios sustentables

tienen como reto canalizar el desarrollo de la institución, partiendo desde sus funciones sustantivas, enmarcados en el contexto de la sustentabilidad desde una perspectiva holística.

Por este motivo, se puede definir a un campus sustentable como una institución de educación superior, que direcciona, involucra y promueve, a nivel global o regional, la minimización de los efectos negativos generados en el uso de sus recursos, y cumpliendo sus funciones sustantivas, es decir, de enseñanza, investigación, vinculación y administración, las cuales deben estar comprometidas con el apoyo en el proceso de transición a una sociedad sustentable.

2.3 Prácticas orientadas a campus sustentables

Para este fin, tradicionalmente existía la tendencia a emplear los denominados sistemas de gestión ambiental, (EMS por sus siglas en inglés), mismos que pueden ser divididos en formales y no formales.

Dentro de los enfoques no formales se tiene la iniciativa Green Building (WGBC 2022b); y por otra parte dentro de los EMS formales la ISO 14001 (ISO 2022a) y el Esquema Europeo de Ecogestión y Auditoría, EMAS por sus siglas en inglés (EMAS 2022), mismos que ofrecen la posibilidad de obtener una certificación.

Adicionalmente es menester indicar que actualmente existe un ranking mundial especializado en materia de sustentabilidad para campus universitarios, denominado UI GreenMetric (Suwartha and Berawi 2019), el cual, junto a los otros indicados serán tratados a continuación.

En cuanto a la iniciativa denominada Green Building, esta consiste en un conjunto de proyectos diseñados para disminuir la producción de desechos y materiales peligrosos, junto con el nivel de consumo de energía y de la mano incentivar el diseño y construcción de edificaciones más eficientes. Esta iniciativa se fundamenta en el concepto de diseño sustentable, debido a que las edificaciones dentro de un campus universitario tienen un impacto significativo en el ambiente (WGBC 2022b).

Este objetivo es posible alcanzar gracias a la elección de materiales de la construcción ambientalmente amigables y el diseño de sistemas integrados y

flexibles en las construcciones, lo cual impacta en la calidad del aire puertas adentro, así como el uso más eficiente de la energía, sin dejar de lado que dentro de su proceso de Puesta en marcha se deben adoptar prácticas más seguras en la construcción que incluyan la mitigación de impactos al ambiente como aguas residuales, ruido, polvo y tráfico. Vale indicar que además de los beneficios descritos, el objetivo de este concepto es incentivar el uso de materiales locales, que preferiblemente promueva el desarrollo de las economías locales y reduzca, entre otros, el costo de transporte, tanto en dinero como contaminación (WGBC 2022a).

Pese a los numerosos beneficios descritos, Green Building presenta limitaciones para tomarla como referencia para la implementación de un campus sustentable. Esto es debido a que, pese a que evalúa criterios emisiones de carbono, la energía, el agua, los desechos, el transporte, los materiales, la salud y la calidad ambiental interior (Anon n.d.), su enfoque está orientado específicamente a las edificaciones, por lo que descuida la inherente dinámica de un campus universitario y no considera aspectos clave como la educación e investigación.

Otra práctica ampliamente utilizada por las universidades a fin de perseguir el objetivo de sustentabilidad es el estándar ISO 14001 (ISO 2022b), el cual ha sido implementado en universidades de Sur América (Gomes et al. 2022), Norteamérica (Mohammadalizadehkorde and Weaver 2018) y Asia (Joy 2019). Este estándar es empleado a fin de implementar objetivos, políticas y responsabilidades ambientales, así como regular y auditar sus elementos.

Esta normativa aplica en general para las organizaciones, en cuanto al impacto ambiental que tienen sus productos, servicios y operaciones, y se divide en dos partes principales; por un lado, están las especificaciones con la guía de uso y por otro se encuentran los lineamientos generales o principios conjuntamente con las técnicas de soporte ISO 14001 (ISO 2022b).

Específicamente, respecto a sus objetivos, la normativa busca: reducir el desperdicio, el agotamiento de los recursos y la contaminación ambiental; promover la conciencia ambiental entre los empleados y dentro de la comunidad; proporcionar una plataforma para que las empresas demuestren su compromiso con la

protección del medio ambiente; ayudar a la gerencia a buscar mejoras continuas en el desempeño ambiental; proporcionar un enfoque mundial en la gestión ambiental; promover un enfoque estándar voluntario y de consenso para asuntos ambientales; y finalmente demostrar un compromiso para ir más allá del cumplimiento regulatorio ISO 14001 (ISO 2022b).

Pese a los evidentes beneficios que ofrece esta normativa, análogo al caso anterior, esta presenta limitaciones para tomarla como referencia para la implementación de un campus sustentable, ya que su aplicación se enfoca en el medio ambiente (ISO 2022b) por lo que tampoco está orientado específicamente a las instituciones de educación superior ya que no considera su inherente dinámica, por lo que descuida aspectos clave como la educación e investigación y su aplicación en las dimensiones energética, de infraestructura, etc.

El EMAS por otra parte, desarrollado en 1993 por la Unión Europea, está diseñado para generar cambios en el desempeño ambiental (European_Commission 2022); sin embargo, su nivel de aceptación, incluso entre la comunidad europea ha venido en descenso, debido principalmente a que incluso las agencias locales europeas encargadas de la protección del medio ambiente no tenían total conocimiento de cómo abordar el EMAS.

El Ranking Mundial Universitario UI GreenMetric, es una iniciativa de la Universidad de Indonesia la cual fue lanzada en 2010, el cual, como se menciona en el portal web oficial, tiene como finalidad es brindar el resultado sobre la condición actual y las políticas vinculadas con un Campus Verde y tratar sobre la sostenibilidad en universidades de todo el mundo. De esta manera se busca que al atraer la atención de los líderes universitarios y las partes interesadas, se refuerce la lucha contra el cambio climático global, de la mano con la conservación del agua y la energía así como promover el transporte ecológico y el reciclaje de desechos (UI GREENMETRIC 2020).

Vale indicar que, misma que ha tenido una amplia acogida a nivel mundial. En este sentido, numerosos estudios corroboran su importancia, dentro de los cuales, por ejemplo, se encuentra el propuesto por (Atici et al. 2021), en el cual se aborda a UI GreenMetric como el eslabón entre una universidad verde y su desempeño

académico. Adicionalmente, se tienen trabajos como el planteado por (Safarkhani and Örnek 2022), el cual emplea UI GreenMetric como la base para estructurar el concepto de un campus sustentable.

En síntesis, el ranking UI GreenMetric ha ido ganando relevancia e interés alrededor del mundo desde sus inicios dado a sus contundentes resultados positivos (Macin, Arikan, and Demir 2020).

2.4 El Ranking Mundial UI GreenMetric

Como se ha mencionado en el apartado anterior, su el objetivo es ofrecer resultados sobre la condición actual y las políticas vinculadas con un campus verde y tratar sobre la sostenibilidad en las universidades de todo el mundo (UI GREENMETRIC 2020).

En este sentido resulta importante destacar que existe una tendencia al alza tanto por los diferentes países como por parte de sus instituciones de educación superior para adherirse a esta iniciativa, tal como lo evidencia la Figura 1.

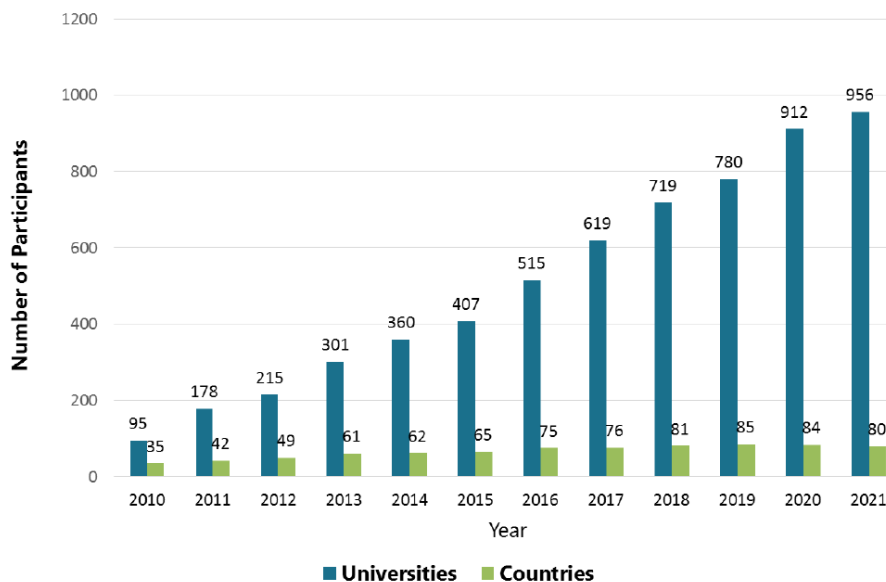


Figura 1 Número de universidades y países que han adoptado la iniciativa UI GreenMetric. Fuente: (Universitas_Indonesia 2020).

En este sentido, vale acotar que UI GreenMetric se encuentra profundamente alineado con los objetivos de desarrollo sostenible, como se evidencia en la Figura 2.



Figura 2 Relación de UI GreenMetric con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: (Universitas_Indonesia 2020)

UI GreenMetric posee una metodología para la evaluación de campus sustentables, la cual consiste en recopilar datos de universidades de todo el planeta para tener un puntaje único que refleje los esfuerzos realizados por cada institución para la implementación de políticas y programas sostenibles que sean respetuosos con el ambiente.

Para lograr este cometido, se emplean ciertos criterios de evaluación (UI GreenMetric 2022), los cuales se indican en la Tabla 1.

El detalle de cada una de las diferentes categorías numerada en la tabla anterior se describe a continuación (UI GreenMetric 2022).

Tabla 1 Categoría usadas en el Ranking UI GreenMetric y su ponderación. Fuente: (UI GreenMetric 2022).

Ítem	Categoría	Ponderación [%]
1	Infraestructura	15
2	Energía y Cambio Climático	21
3	Residuos	18
4	Agua	10
5	Transporte	18
6	Educación e investigación	18
Total		100

2.4.1 Entorno e infraestructura

El entorno del campus y su infraestructura proporcionará información de la política universitaria hacia el ambiente. El fin es motivar a la universidad participante a ofrecer más espacio para la vegetación y proteger del medio ambiente (UI GreenMetric 2022).

Los parámetros para evaluar son:

- La relación entre el Superficie total y el Superficie de espacio abierto
- Superficie del campus universitario cubierta de bosque
- Superficie del campus universitario cubierta de vegetación plantada
- Superficie en el campus universitario para la absorción de agua
- Superficie total de espacio abierto dividida por la población total del campus universitario.
- Presupuesto del campus para el esfuerzo sostenible

2.4.2 Energía y cambio climático

Es el criterio con mayor peso, mediante el cual la universidad responde a la problemática asociada a la energía y el cambio climático, con lo que la institución debe comprometerse en incrementar la eficiencia energética.

Entre los indicadores clave se incluyen

- Uso de electrodomésticos eficientes energéticamente
- El uso total de electricidad respecto a la población total del campus.
- Implementación de edificios inteligentes.
- Número de fuentes de generación renovable en el campus,
- La relación entre la energía producida por dichas fuentes dividida para el uso total de energía anual.
- Programas para la reducción de gases de efecto invernadero.
- Huella de carbono total dividida para la población del campus.
- Impacto de los programas implementados por la universidad con respecto al cambio climático.

2.4.3 Residuos

Su tratamiento y reciclaje son elementos clave para un ambiente sostenible. La actividad normal del personal del campus produce una gran cantidad de residuos, por lo que programas para el tratamiento de residuos deben estar entre las prioridades, es decir, reciclaje y tratamiento de residuos orgánicos, e inorgánicos, disposición de alcantarillado, políticas para disminuir el uso de papel y plástico, etc. (UI GreenMetric 2022).

Los parámetros para evaluar son:

- Programas para el reciclaje de residuos.
- Programas para disminuir el uso de plástico y papel.
- Tratamiento de residuos (orgánicos e inorgánicos).
- Tratamiento de residuos inorgánicos
- Manejo de residuos tóxicos.
- Eliminación de aguas residuales

2.4.4 Agua

El empleo de este recurso en los predios universitarios es otro indicador importante. La finalidad es que las instituciones de educación superior puedan reducir el uso de agua y proteger el hábitat (UI GreenMetric 2022).

Los parámetros para evaluar son:

- Puesta en marcha del programa de conservación del agua
- Puesta en marcha del programa de reciclaje de agua
- El uso de electrodomésticos que ahorran agua (de grifo, descarga del inodoro, etc.)
- Consumo de agua tratada.

2.4.5 Transporte

Este desempeña un rol muy importante en las emisiones de carbono en la universidad. Es por ello que se necesita una política de transporte para limitar la cantidad de vehículos motorizados en el campus, y promover el uso del autobús y la bicicleta, lo que fomentará un ambiente más saludable. Adicionalmente, crear una política de peatones incentivará a caminar por el campus y evitar el uso de vehículos privados (UI GreenMetric 2022).

Los principales parámetros para evaluar son:

- La relación entre el total de vehículos motorizados respecto a la población total del campus.
- Política para vehículos de cero emisiones en los predios universitarios.
- La relación entre vehículos de cero emisiones dividida para la población total del campus.
- Relación entre la superficie de estacionamientos y la superficie neta del campus
- Programas de transporte para limitar la superficie de estacionamiento en el campus universitario en los últimos tres años.
- Cantidad de iniciativas de transporte para disminuir los vehículos privados en el campus.
- Política para establecer senderos peatonales en el campus.

2.4.6 Educación e investigación

Este se sustenta en el rol importante de la universidad en fomentar la preocupación de las nuevas generaciones por los temas vinculados a la sostenibilidad (UI GreenMetric 2022).

Los parámetros para evaluar son:

- La proporción de las materias vinculadas a temas de sostenibilidad con relación al total de asignaturas.
- La proporción entre el financiamiento asignado a investigación en temas de sostenibilidad y la total asignada a investigación.
- Cantidad de publicaciones sobre temas de sostenibilidad y medio ambiente.
- Cantidad de eventos sobre temas de sostenibilidad y medio ambiente.
- Cantidad de organizaciones estudiantiles relacionadas con sostenibilidad y medio ambiente.
- Constancia de un sitio web dedicado a informar sobre sostenibilidad (gestionado por la universidad)
- Constancia de memoria de sostenibilidad (publicada).

2.5 Sistemas de generación distribuida en el contexto de un campus sustentable

Desde un punto de vista eléctrico, la universidad puede operar abastecida parcialmente por un sistema de generación distribuida o como una isla con recursos suficientes para satisfacer sus demandas de energía, con lo que es posible reducir el costo de la electricidad. (Akindeji, Tiako, and Davidson 2019; Hadjidemetriou et al. 2018).

Actualmente las microrredes, y de la mano los sistemas de generación distribuida basado en generación renovable no convencional han evolucionado como una tecnología importante para aprovechar y agregar fuentes de energía renovable disponibles con el fin de aumentar la confiabilidad de la red, reducir la huella de carbono y reducir el costo de la energía. (Zhu, Wang, and Yan 2018).

En este contexto, uno de los recursos más útiles es la energía solar fotovoltaica, ya que actualmente su uso es extenso en la puesta en marcha en edificaciones de todo tipo, cuyo beneficio directo es una reducción significativa en el consumo energético y su consecuente costo en la universidad.

3. METODOLOGÍA

3.1 Enfoque, Tipo De Investigación Y Unidad Experimental

Esta investigación se ha realizado en la Escuela Politécnica Nacional, como caso de estudio y se ha empleado un diseño mixto, ya que se generará información tanto cuantitativa como cualitativa, cuya combinación ofrece mayor solidez a la investigación. El enfoque cualitativo permitirá darle una mejor contextualización a la información cuantitativa obtenida, así como contestar algunos de los objetivos específicos que precisan de datos textuales.

A nivel de unidad de análisis, el presente trabajo centra su estudio en analizar la dinámica del sistema eléctrico en instituciones de educación superior. Y a nivel de unidad de observación, este trabajo adopta la estrategia de caso de estudio, concretamente se centra en el campus principal de la EPN.

Por lo expuesto queda en evidencia que en este trabajo se adopta un enfoque no experimental o de campo, ya que no existe manipulación de las variables, sino que se las estudia en su entorno natural. En este sentido, vale indicar además que adopta una perspectiva sincrónica, ya que propende el análisis del fenómeno en un lapso determinado y no a través del tiempo. En alusión a su alcance, este trabajo es en esencia descriptivo, ya que busca caracterizar el fenómeno social en cuestión (no analizar relaciones entre variables).

La unidad de análisis fue el campus Universitario JRO de la Escuela Politécnica Nacional y la información obtenida para este trabajo se sustenta mayoritariamente en fuentes primarias, empleando principalmente la técnica de consulta documental. Es así como se recurrirá principalmente a documentos académicos asociados al tema complementado con datos reportados en estudios anteriores.

En cuanto al análisis e interpretación de los datos se refiere, se empleará el análisis de contenido para los datos cualitativos y la estadística descriptiva para los cuantitativos.

3.2 Técnicas de recolección de información

En este sentido, en primera instancia se realiza un estudio documental de los avances que ha realizado la Escuela Politécnica Nacional en materia de campus sustentable hasta la fecha, poniendo particular interés en lo relacionado al análisis energético del campus universitario.

Acto seguido se procede a realizar el análisis de la situación actual del sistema eléctrico de la EPN, desde la perspectiva de lo que requiere cumplir un campus sustentable, conforme los lineamientos establecidos por UI GreenMetric, partiendo de una tabulación de los edificios y sus tomas de carga a nivel de cabecera de cada transformador en la EPN, así como de los demás lineamientos sugeridos en el apartado 2.4 en cuanto a energía se refiere.

3.3 Análisis energético en el contexto de un campus sustentable.

En función de lo expuesto en el apartado 2.4, queda en evidencia que, dentro de los criterios de evaluación planteados por UI GreenMetric, uno de los más relevantes (y con mayor ponderación) es el denominado Energía y Cambio Climático, el cual tiene un peso del 21% para la evaluación de un campus sustentable, motivo por el cual, se lo tomará como referencia para realizar el análisis energético en el presente caso de estudio.

Dentro de sus parámetros de interés se definen varios indicadores para esta área particular, de los cuales, aquéllos vinculados directamente al análisis energético se enlistan a continuación.

- Puesta en marcha de edificios inteligentes.
- Número de sistemas de generación renovable instalados en el campus universitario.
- Energía neta consumida dividida para la población del campus (kWh por cada persona).
- La relación entre la producción de energía renovable respecto al uso neto de energía en un año.

Con la finalidad de evidenciar la métrica propuesta por UI GreenMetric, conforme se pormenoriza en (Universitas_Indonesia 2020) se presenta a continuación la metodología para ponderar los indicadores antes descritos.

En este sentido, cada indicador tiene un puntaje establecido, mismo que debe ser evaluado considerando la ponderación del criterio en cuestión. El resumen de lo antes explicado se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2 Ponderación de criterios asociados al análisis energético según UI GreenMetric. Fuente: Elaboración propia.

Criterio: Energía y Cambio Climático	Puntos posibles	Puntos conseguidos
Peso (21 %)		
Puesta en marcha de edificios inteligentes.	300	
Número de sistemas de generación renovable instalados en el campus universitario.	300	
Energía neta consumida dividida para la población del campus (kWh por cada persona).	300	
La relación entre la producción de energía renovable respecto al uso neto de energía en un año.	300	

Dependiendo del cumplimiento de cada uno de los indicadores, se obtendrá la respectiva calificación, conforme las consideraciones indicadas a continuación.

Respecto a la puesta en marcha de edificios inteligentes, se deberá determinar la relación porcentual entre el área total con edificios inteligentes y el área total construida. En función de los resultados se deberá elegir una de las siguientes opciones:

[1] <1%

[2] 1-25 %

[3] >25-50%

[4] >50-75%

[5] >75%

Respecto al número de sistemas de generación renovable instalados en el campus universitario, se considerarán las opciones siguientes:

[1] Ninguna

[2] Una fuente

[3] Dos fuentes

[4] Tres fuentes

[5] Más de tres fuentes

Respecto al indicador energía neta consumida dividida para la población del campus se deberá elegir una de las opciones siguientes en función del cociente obtenido.

[1] ≥ 2424 kWh

[2] $> 1535-2424$ kWh

[3] $> 633-1535$ kWh

[4] $> 279-633$ kWh

[5] < 279 kWh

Finalmente, respecto a la relación entre la producción de energía renovable respecto al uso neto de energía en un año, deberá elegirse una de las opciones siguientes en función del cociente obtenido.

[1] $\leq 0,5\%$

[2] $> 0,5 - 1\%$

[3] $> 1 - 2\%$

[4] $> 2 - 25\%$

[5] $> 25\%$

En función de la información obtenida es posible realizar el cómputo de los puntos obtenidos, conforme se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3 Ponderación de criterios asociados al análisis energético según UI GreenMetric.
Fuente: elaboración propia.

Criterio: Energía y Cambio Climático Peso: 21 %	Puntos posibles	Forma de cálculo	Puntos conseguidos
<i>Puesta en marcha de edificios inteligentes.</i>	300		
[1] <1%		0,05x300	
[2] 1-25 %		0,25x300	
[3] >25-50%		0,5x300	
[4] >50-75%		0,75x300	
[5] >75%		1x300	
<i>Número de sistemas de generación renovable instalados en el campus universitario.</i>	300		
[1] Ninguna		0,05x300	
[2] Una fuente		0,25x300	
[3] Dos fuentes		0,5x300	
[4] Tres fuentes		0,75x300	
[5] Más de tres fuentes		1x300	
<i>Energía neta consumida dividida para la población del campus (kWh por cada persona).</i>	300		
[1] >=2424 kWh		0,05x300	
[2] >1535-2424 kWh		0,25x300	
[3] >633-1535 kWh		0,5x300	
[4] >279-633 kWh		0,75x300	

[5] < 279 kWh		1x300	
<i>La relación entre la producción de energía renovable respecto al uso neto de energía en un año.</i>	200		
[1] <= 0,5%		0.05x200	
[2] > 0,5 – 1%		0,25x200	
[3] > 1 -2 %		0,5x200	
[4] > 2 – 25%		0,75x200	
[5] > 25 %		1x200	

4. RESULTADOS

En cuanto a los resultados se refiere, se presentará en primera instancia el análisis de los sistemas de gestión empleados en materia de campus sustentable, para proceder a caracterizar el comportamiento energético eléctrico actual del Campus José Rubén Orellana.

Para ese fin se presentan los hallazgos realizados en cuanto a los avances en materia de campus sustentable en la Escuela Politécnica Nacional, y por otra parte los que permiten caracterizar la situación actual del Campus José Rubén Orellana en términos energéticos tomando como referencia los lineamientos establecidos por UI GreenMetric.

Finalmente se plantean medidas que contribuyan a mejorar el cumplimiento de los indicadores energéticos considerando su rol en el contexto de un campus sustentable.

4.1 Análisis de los sistemas de gestión empleados en materia de campus sustentables.

En primera instancia conviene establecer qué es un sistema de gestión, el cual puede definirse como la unión de elementos y actividades interrelacionados y coordinados, y que a partir de políticas y objetivos, dirigen y controlan la organización con la finalidad de alcanzar dichas metas (ISO 2022c).

En este sentido, como se ha pormenorizado en el apartado 2.3, existen diferentes alternativas como GreenBuilding, ISO 14001, EMAS y UI GreenMetric, de los cuales, por los ya detallados beneficios en materia de campus sustentable, se empleará este último, el cual, en el campo energético plantea el cumplimiento de los indicadores siguientes: incorporación de edificios inteligentes, fuentes de energía renovable instalada en el campus, energía eléctrica consumida dividida por la población del campus (kWh por cada persona), y la relación entre la energía renovable producida respecto al uso neto de energía en un año.

4.2 Avances de la Escuela Politécnica Nacional en materia de campus sustentable

Uno de los primeros pasos en el objetivo de convertir a la EPN en un Campus Sustentable, se da en el 2016, mediante la Resolución Administrativa N° 015-206 (EPN 2016b), en la cual se resuelve conformar el Comité de Sustentabilidad Ambiental del Campus, el cual se encargará de planificar y coordinar todas las acciones que conduzcan a cumplir las políticas e indicaciones de desempeño establecidos por la EPN en materia de sustentabilidad ambiental.

Por otra parte, mediante la resolución del Consejo Politécnico se formó el Comité de Sustentabilidad “Campus Sustentable EPN” con la finalidad de transformar al campus politécnico en una zona con condiciones de sustentabilidad ambiental (EPN 2017a).

Como se manifiesta en (EPN 2017a), éste se constituye por los representantes del Instituto Geofísico, Facultades de Ciencias, Ingeniería Química, Ingeniería Civil, Empresa Pública, Dirección de Planificación, Dirección de Relaciones Institucionales y Dirección Administrativa, esto con la finalidad de transformar los predios de la EPN para que contribuyan al desarrollo de actividades y a la convivencia en las mejores condiciones posibles.

En cumplimiento con las políticas implementadas, este comité se reunió en repetidas ocasiones para iniciar con la propuesta realizada. Sus resultados se resumen en el denominado “Plan Institucional De Buenas Prácticas Ambientales 2017 Para La Aplicación De Las Políticas Para El Campus Sustentable De La EPN Contenidas En Resolución De Consejo Politécnico” (EPN 2017c). En este documento se establecen seis lineamientos básicos, los cuáles son:

- Determinar una línea base ambiental.
- Caracterizar residuos sólidos.
- Formular el plan de gestión de residuos sólidos.
- Negociar el convenio con EMASEO para recolección de desechos sólidos.
- Difundir y promover los programas.
- Fortalecer la gestión ambiental en la EPN.

Como se puede advertir, en este documento se establecen lineamientos muy generales, orientados principalmente a la gestión de residuos sólidos, en dónde, dicho sea de paso, no se considera explícitamente la dimensión energética dentro del análisis.

Finalmente, mediante Acta 9-18, en su resolución 60, Consejo Politécnico establece las “Políticas Ambientales del Campus de la Escuela Politécnica Nacional” (EPN 2017b), cuya finalidad es determinar políticas, estrategias y mecanismos para que el campus de la EPN cumpla con condiciones de sustentabilidad ambiental, a través de la progresiva aplicación de adecuadas prácticas ambientales.

De esta manera la institución se compromete a realizar una gestión ambientalmente sustentable y responsable en los predios del Campus Politécnico, haciendo hincapié en el bienestar de su comunidad y en su articulación con el entorno (urbano).

En este documento, en su sección tercera, se establecen 10 ejes de acción fundamentales, los cuales son estratégicas con la finalidad de alcanzar la sustentabilidad ambiental del Campus de la EPN (EPN 2017b). A continuación, se detallan los principales.

Agua

Las actividades desarrolladas priorizarán el uso eficiente y sustentable del agua, para ello se deberá:

- Disminuir su consumo y los costos relacionados.
- Recuperar, almacenar y reusar el agua lluvia.
- Hacer mantenimiento periódico para evitar y/o reparar en fugas de agua
- Tratar, almacenar y reusar aguas grises.

Energía

Se enfoca en la necesidad del uso eficiente, seguro y sustentable de la energía, para lo que se deberá:

- Disminuir el consumo de energía y sus costos.
- Introducir medidas para evitar accidentes por mal manejo de la energía.

- Hacer mantenimiento periódico para prevención y/o reparación de las instalaciones eléctricas.
- Generar y acumular energía de fuentes no alternativas.

Desechos sólidos y líquidos

Tiene por finalidad hacer uso eficiente de los insumos consumidos, para reducir los desechos, aumentar el reciclaje y optimizar su uso final. Para este fin, entre otras actividades, se deberá:

- Introducir sistemas de gestión para la reducción de desechos.
- Reducir al mínimo y gestionar eficazmente los desechos.
- Incentivar el uso de productos reciclados, entre otros.

Edificaciones

Este apartado se enfoca en reducir el impacto ambiental de la infraestructura física, hasta lograr un rendimiento de carbono neutro. Para este fin se deberá:

- Reducir el consumo de recursos (de todo tipo).
- Optimizar la utilización de los espacios.
- Implementar prácticas para la reducción del impacto ambiental como parte de los programas de mantenimiento y/o remodelación de edificios, entre otros.

En base a esta información, resulta clara la concordancia con los lineamientos establecidos por UI GreenMetric en el apartado 2.4. Uno de esos lineamientos estructurales, es el de energía, y es debido a esto que resulta menester realizar el análisis de la situación actual en la EPN respecto a este particular, como se presenta a continuación.

4.3 Análisis de la situación actual del sistema energético eléctrico del Campus Rubén Orellana de la EPN desde la perspectiva de interés de un campus sustentable.

Para realizar el análisis de la situación actual, se tomarán como referencia, por una parte, los lineamientos establecidos por UI GreenMetric (UI GreenMetric 2022)

alusivos a la línea base de energía, detallado en el apartado 2.4, y por otra parte, lo determinado por (EPN 2017b) indicado en el epígrafe 4.1.

Con la finalidad de colocar ambos criterios en un mismo plano visual y así facilitar su análisis se plantea la Tabla 4.

Tabla 4 Lineamientos orientados a un Campus Sustentable en materia de energía establecidos por UI GreenMetric y Consejo Politécnico. Fuente: elaboración propia.

Lineamientos orientados a un Campus Sustentable en materia de energía	
UI GreenMetric	Consejo Politécnico
1. Puesta en marcha de edificios inteligentes	1. Disminuir el consumo de energía y sus costos asociados.
2. Número de sistemas de generación renovable instalados en el campus universitario	2. Producir y acumular energía de fuentes renovables alternativas.
3. Energía neta consumida dividida para la población del campus (kWh por cada persona)	3. Introducir medidas para evitar accidentes por mal manejo de las energías.
4. La relación entre la producción de energía renovable respecto al uso neto de energía en un año.	4. Hacer mantenimiento (periódico) para prevenir y reparar las instalaciones eléctricas.

En base a esta información, queda en evidencia que resulta conveniente emplear los criterios establecidos por UI GreenMetric. Se adoptará ese criterio debido a que éste presenta parámetros que facilitan su cuantificación y tiene el beneficio adicional de perfilarse como un insumo base para una eventual certificación en materia de campus sustentable.

Vale recalcar que en Ecuador ya lo han realizado otras universidades, las cuales, según el ranking UI GreenMetric (UI_GreenMetric 2022), son la Escuela Politécnica del Litoral, (ESPOL 2022; UI_GreenMetric 2021b), la Escuela Politécnica de Chimborazo (ESPOCH 2022; UI_GreenMetric 2021a) , Universidad Tecnológica ECOTEC (UI_GreenMetric 2021f), Universidad Politécnica Estatal del Carchi

(UI_GreenMetric 2021d), Universidad Técnica del Norte (UI_GreenMetric 2021e), Universidad Hemisferios (UI_GreenMetric 2021c).

A continuación, se particulariza en el contexto del Campus JRO de la Escuela Politécnica Nacional cada uno de los lineamientos establecidos por UI GreenMetric, esto con la finalidad de realizar el análisis de su situación actual en términos energético-eléctricos en el contexto de un campus sustentable.

4.3.1 Puesta en marcha de edificios inteligentes

Entendiéndose como tales a aquellos que están equipados con tecnología innovadora, dispositivos, softwares y plataformas digitales que facilitan la automatización de sus sistemas e instalaciones (Shah et al. 2019).

En este sentido, estos edificios gestionan, controlan y supervisan de forma integrada sus procesos de consumo de energía y sus requerimientos de seguridad y de confort, para alcanzar la máxima eficiencia posible y mejorar la seguridad y usabilidad de sus espacios (Dong et al. 2019) .

Una de sus características más importantes es que este tipo de edificios integran un ecosistema tecnológico inteligente en el que pueden implantarse múltiples tecnologías. Como por ejemplo, el Internet of Things (IoT), mediante la incorporación de sensores inteligentes que regulan la temperatura y la iluminación, entre otros (Shah et al. 2019).

Dicho esto, a la fecha de presentación de este trabajo la EPN no cuenta con instalaciones de este tipo en su campus universitario.

4.3.2 Sistemas de generación renovable instalados en el campus universitario

A diferencia de los combustibles fósiles, que son fuentes no renovables de energía, las energías renovables son generadas a partir de fuentes naturales que llegan a restituirse casi al mismo tiempo que se consumen, como por ejemplo, la luz solar y el viento (UN 2022a).

En este sentido, actualmente existen iniciativas aisladas y de modesta potencia como la instalada en la zona de los parqueaderos detrás del edificio de la Facultad

de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, cuya potencia instalada es de 200 Wp, como se indica en la Figura 3.



Figura 3 Sistema de generación fotovoltaica instalado en el parqueadero de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Fuente: Elaboración propia.

Otra muestra de esta iniciativa se encuentra instalada en los predios adyacentes al edificio administrativo, mostrado en la Figura 4 el cual, dicho sea de paso, se encuentra inoperante lo que se evidencia en sus conductores cortados (derecha).



Figura 4 Sistema de generación fotovoltaica instalado en los predios adyacentes al edificio administrativo. Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, con respecto a este particular, a la fecha de presentación de este trabajo, la EPN no cuenta con instalaciones de este tipo en su campus universitario que representen una participación importante en su abastecimiento neto de energía.

4.3.3 Energía neta consumida dividida para la población del campus (kWh por cada persona).

Para estimar la energía neta consumida por cada estudiante de la EPN conviene, en primera instancia, determinar el consumo total, para lo cual primero es necesario realizar un inventario de las edificaciones de la institución y determinar de dónde están siendo abastecidas de energía, para luego estimar sus consumos totales. En este sentido dicho inventario es presentado en los anexos I, II, y III, y IV cuyo resumen se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5 Resumen de inventario de alimentadores que proveen energía a la Escuela Politécnica Nacional con sus respectivas cargas. Fuente: Elaboración propia.

Alimentador	Potencia de transformador [kVA]	Cargas
12 A	200	Aulas Mecánica, Instituto de Ciencias Básicas (ICB)
	160	Horno Inducción del Laboratorio Fundición
	110	Mecánica Laboratorio y Aulas (Circuito1 y Circuito2)
	170	Eléctrica Antigua
	300	Eléctrica - Química
	170	Química
	315	Facultad de Sistemas
	225	Laboratorio del CIERHI
	45	Taller Metalurgia
	500	EARME (CEC) Taller Metal Mecánica Laboratorio Metalurgia
32 E	50	EPN TECH
	160	Facultad Civil y Ambiental
	300	Administración Central y Teatro politécnico. Facultad de Ciencias
	112.5	Hidráulica
	300	Centro de Investigaciones aplicada a Polímeros y Edificio Servicios Generales.
	45	Aulas ESFOT

En este sentido, a fin de evidenciar la dinámica asociada al consumo de energía del sistema conviene conocer las respectivas curvas de demanda de cada uno de

los alimentadores, mismas que son el resultado de la asociación de los aportes individuales de cada transformador, las cuales fueron obtenidas mediante mediciones como se presenta en el anexo IV. Las curvas de demanda asociadas a cada uno de los alimentadores se muestran en las Figura 5 y Figura 6.

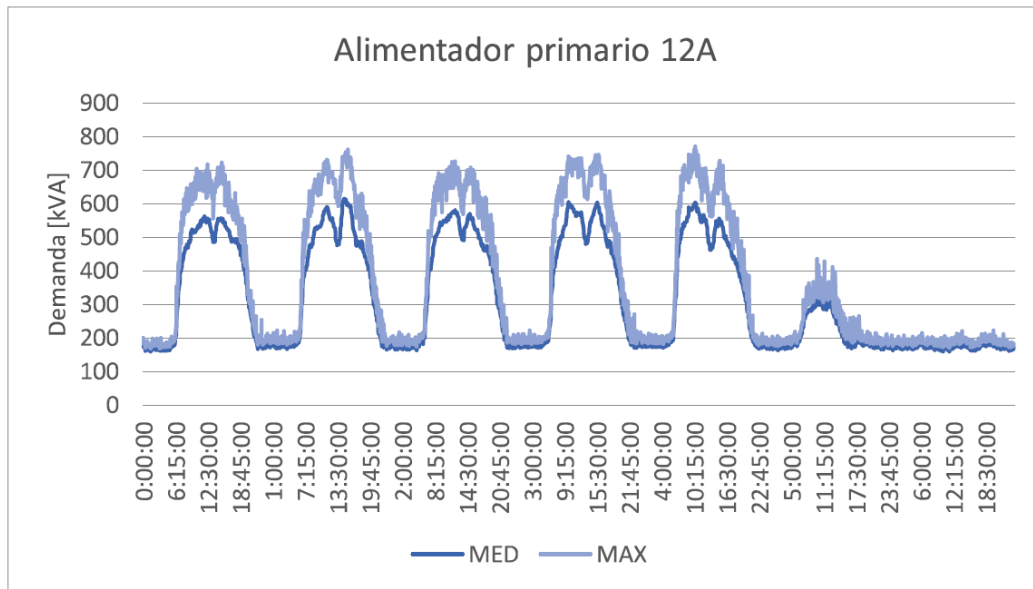


Figura 5 Curva de demanda (semanal) del Alimentador 12 A. Fuente: (Quishpe 2020).

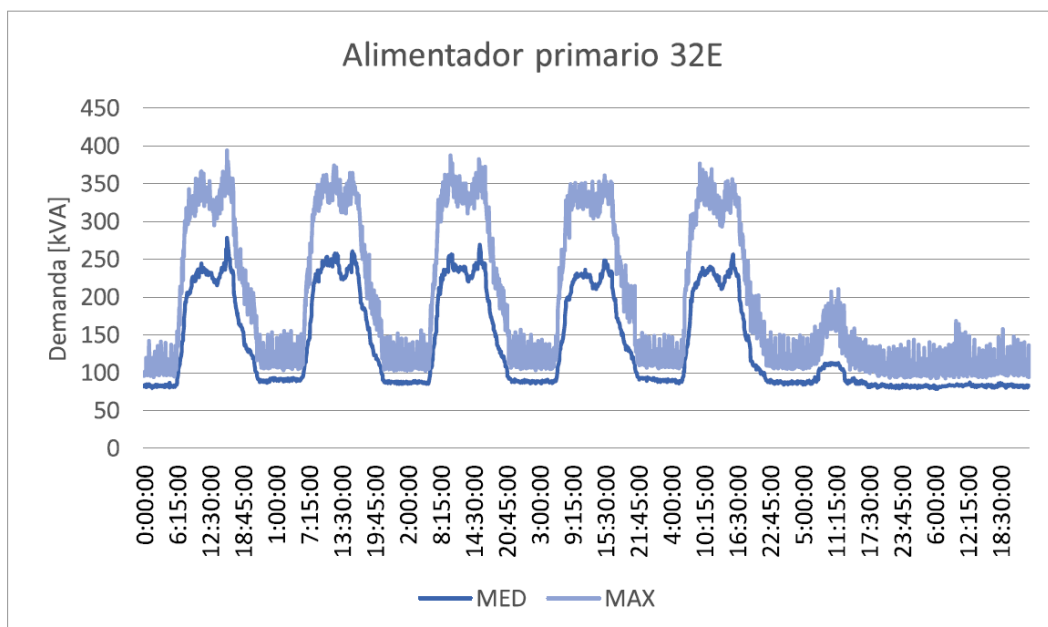


Figura 6 Curva de demanda (semanal) del Alimentador 32 E. Fuente: (Quishpe 2020).

En base a esta información es posible obtener la curva diaria de carga (en el día pico), es decir, se toma la curva del día que tenga el pico más elevado. Adicionalmente, se aprecia que la carga de los días de fin de semana es menor a la de los días hábiles, especialmente la de domingo, por lo que ésta se considera como condición de la carga mínima (Quishpe 2020). Estas curvas se observan en las Figura 7 y Figura 8.

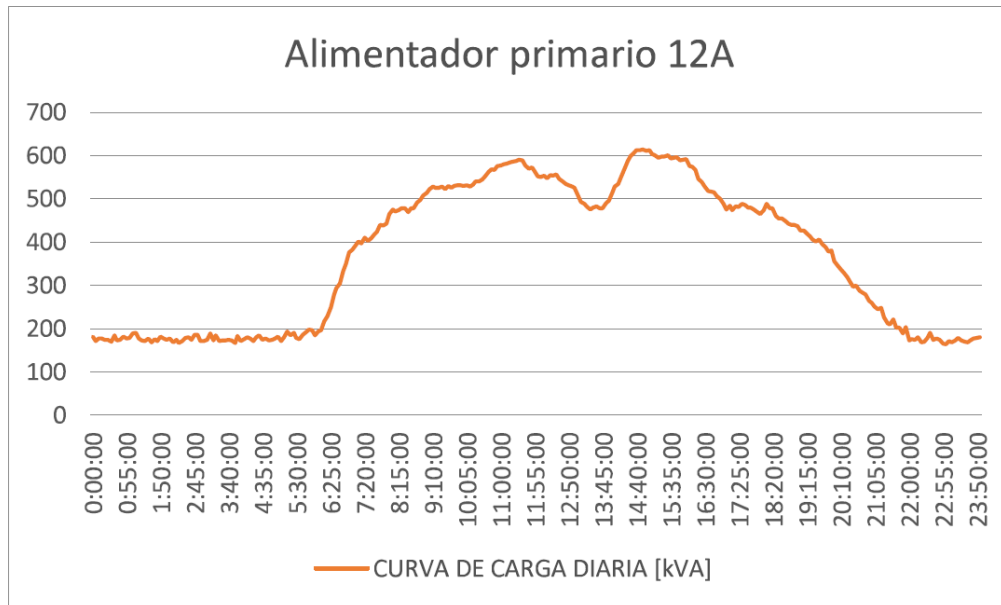


Figura 7 Curva de demanda diaria del alimentador 12 A. Fuente: (Quishpe 2020)

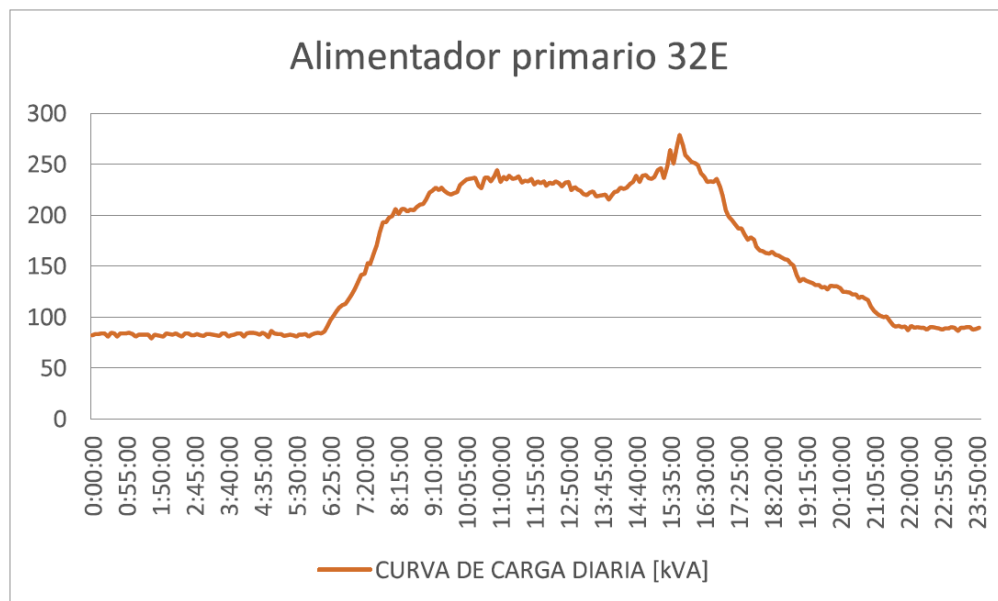


Figura 8 Curva de demanda diaria del alimentador 32E. Fuente: (Quishpe 2020).

Como se aprecia, la Figura 7 y Figura 8, las que corresponden al comportamiento de la carga de Campus Universitario bajo estudio y son de similares características. El Superficie bajo las curvas indicadas en la Figura 7 y Figura 8 corresponden a la energía provista por el alimentador, cuyos valores son de 7.9 MWh/día para el alimentador 12 A y de 2.70 MWh/día para el alimentador 32E, lo que en su conjunto representa una energía total consumida por el campus de 3869 MWh/año.

Dado que la población de estudiantes de la EPN es de 10000 alumnos (EPN 2022), más los 3000 estudiantes no politécnicos que se capacitan en el Centro de Educación Continua se concluye un consumo de energía de 300 kWh al año por cada estudiante.

4.3.4 La relación entre la producción de energía renovable respecto al uso neto de energía en un año.

Con respecto a este particular, a la fecha de presentación de este trabajo la EPN no cuenta con instalaciones de este tipo en su campus universitario que aporten de manera representativa en su abastecimiento de energía, motivo por el cual la relación entre la producción de energía renovable respecto al uso neto de energía en un año es de cero.

Con la finalidad de evidenciar en términos cuantitativos la situación actual del sistema, se emplea la métrica planteada en la Tabla 3, cuyos resultados se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6 Situación actual del sistema estudiado en función de la métrica establecida por UI GreenMetric. Fuente: elaboración propia.

Criterio: Energía y Cambio Climático	Puntos posibles	Forma de cálculo	Puntos conseguidos
Peso (21 %)			
<i>Puesta en marcha de edificios inteligentes.</i>	300		
[1] <1%		0.05x300	15

<i>Número de sistemas de generación renovable instalados en el campus universitario.</i>	300		
[1] Ninguna		0.05x300	15
<i>Energía neta consumida dividida para la población del campus (kWh por cada persona).</i>	300		
[4] >279-633 kWh		0,75x300	225
<i>La relación entre la producción de energía renovable respecto al uso neto de energía en un año.</i>	200		
[1] <= 0,5%		0.05x200	10
Puntos totales conseguidos			270

4.4 Propuesta de mejora para el cumplimiento de indicadores energéticos enmarcado en el contexto de un campus sustentable.

En función de los resultados detallados en el apartado 4.3, queda en evidencia que el Campus Universitario JRO de la Escuela Politécnica Nacional, tiene áreas de oportunidad de cara a cumplir los requerimientos necesarios en materia energética que requiere un campus sustentable, más aún, si desea emplear estos avances como un insumo para una eventual certificación internacional, en este sentido, acciones puntuales que permitan satisfacer dichos requisitos, serían las detalladas a continuación.

4.4.1 Puesta en marcha de edificios inteligentes

En cuanto a este apartado, si bien es cierto que no tendría sentido práctico pensar en construir desde cero nuevas edificaciones para sustituir a las ya existentes, lo

que sí resultaría conveniente es considerar medidas que les permitiesen atribuirles esta connotación, es decir, complementar a la migración total de iluminación LED de alta eficiencia con la puesta en marcha de dispositivos, softwares y plataformas digitales que facilitan la automatización de sus sistemas e instalaciones.

Para una primera fase de la eventual implementación de este tipo de sistemas, se recomienda iniciar con un 10% de la infraestructura existente, comenzado por los de reciente construcción, como es el caso del Edificio de Relación con el Medio Externo (EARME).

4.4.2 Sistemas de generación renovable instalados en el campus universitario

Este es quizás uno de los ítems que puede generar mayor visibilidad en el contexto de adoptar criterios de sostenibilidad dentro de un campus universitario y así encaminarlo para adoptar el título de campus sustentable.

Dentro de las opciones actuales de generación renovable no convencional, la que ha tomado mayor protagonismo para las aplicaciones en edificaciones y sus inmediaciones es la solar fotovoltaica, por su relativa sencillez en cuanto a su Puesta en marcha y mantenimiento y por sus cada vez menores costos de adquisición.

En este sentido, resulta conveniente para los fines de este trabajo considerar como una de las mejores alternativas este tipo de sistemas de energía renovable la Puesta en marcha de un sistema fotovoltaico con una participación representativa en la producción de energía eléctrica respecto a los requerimientos del campus politécnico.

Para este fin, se ha tomado como referencia el trabajo presentado por (Quishpe 2020), en el cual se analiza detalladamente los pormenores técnicos asociados, cuyos resultados pertinentes para el presente trabajo se presentan en el Anexo V.

En relación con este particular, luego de solventar los temas técnicos vinculados estrictamente al estudio de ingeniería eléctrica, quizás uno de los desafíos de mayor interés consiste en determinar el lugar adecuado para su instalación. Lo ideal es que, a más de cumplir con su cometido de generación de energía puedan ser

aprovechados para otros fines, por lo cual se eligen como zonas propuestas para la instalación de este sistema los parqueaderos del campus universitario de la EPN, como se resume en la Figura 9.

De llevarse a cabo su Puesta en marcha, sería posible obtener una cantidad representativa de energía, cuyo resumen se presenta en la Figura 10.



Figura 9 Ubicación en el mapa de los parqueaderos de la EPN como sitio propuesto para la instalación del sistema de generación fotovoltaico. Fuente: (Quishpe 2020)

Cada uno de estos emplazamientos, como se detalla en la Tabla 19, representaría una cantidad de energía de 197.62 MWh/año, 107.55 MWh/año, 112.68 MWh/año y 88.73 MWh/año para las instalaciones colocadas en los parqueaderos cerca de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, en los del Instituto de Ciencias Básicas, en los de la Facultad de Civil-Ambiental y en los del Edificio Administrativo respectivamente.

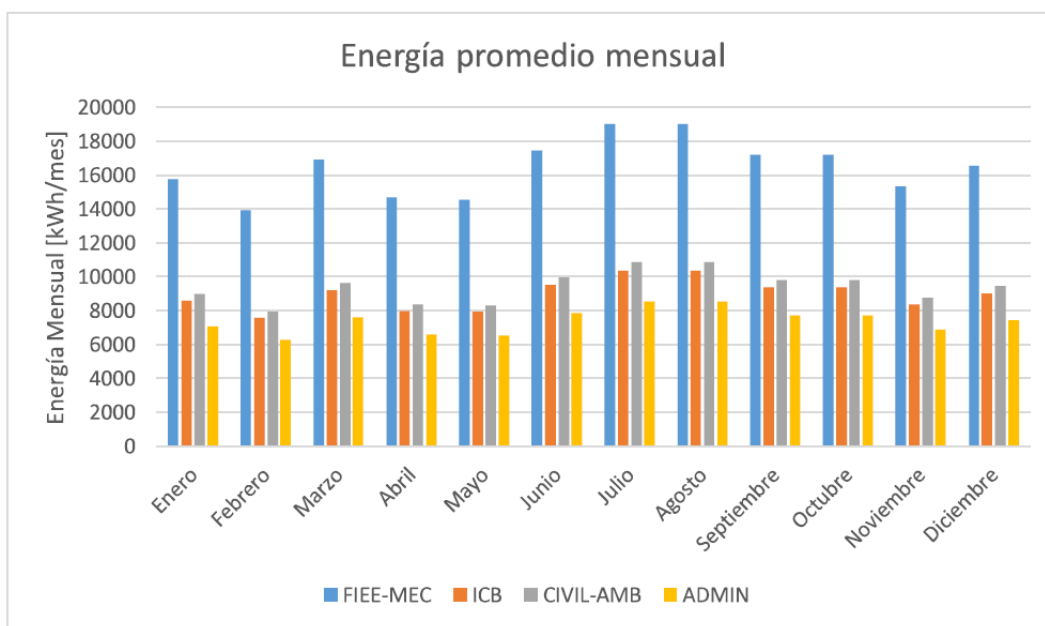


Figura 10 Energía generada por la instalación fotovoltaica. Fuente: (Quishpe 2020)

4.4.3 Energía neta consumida dividida para la población del campus (kWh por cada persona).

En cuanto a este apartado respecta, el análisis sería el mismo que el presentado en el apartado 4.3.3.

4.4.4 La relación entre la producción de energía renovable respecto al uso neto de energía en un año.

Con respecto a este particular, de implementarse el sistema de generación fotovoltaica detallado en el apartado anterior, en su conjunto esto representaría una generación de energía con un valor de 506.58 MWh/año, lo que, en comparación con el consumo medio anual de 3869 MWh/año detallado en el apartado 4.3, representa porcentaje del 13 %, lo cual se traduce como un porcentaje igual en la reducción en el consumo energético desde la red, y el consecuente costo que esto conlleva.

Con la finalidad de evidenciar en términos cuantitativos la mejora del sistema en el caso de implementarse las adecuaciones sugeridas, se emplea la métrica planteada en la Tabla 3, cuyos resultados se resumen en la Tabla 7.

Tabla 7 Situación proyectada del sistema estudiado en función de la métrica establecida por UI GreenMetric. Fuente: elaboración propia.

Criterio: Energía y Cambio Climático	Puntos posibles	Forma de cálculo	Puntos conseguidos
Peso: 21 %			
<i>Puesta en marcha de edificios inteligentes.</i>	300		
[2] 1-25 %		0,25x300	75
<i>Número de sistemas de generación renovable instalados en el campus universitario.</i>	300		
[5] Más de tres fuentes		1x300	300
<i>Energía neta consumida dividida para la población del campus (kWh por cada persona).</i>	300		
[4] >279-633 kWh		0,75x300	225
<i>La relación entre la producción de energía renovable respecto al uso neto de energía en un año.</i>	200		
[4] > 2 – 25%		0,75x200	150
Puntos totales conseguidos			750

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado la evaluación energética eléctrica del Campus Universitario JRO de la Escuela Politécnica Nacional enmarcado en el contexto de lo que requiere un campus sustentable. En este sentido, y atendiendo cada uno de los objetivos planteados, se resuelve:

En cuanto a analizar cuáles son los sistemas de gestión empleados en materia de campus sustentables, se concluye que, pese a los beneficios que tiene iniciativas como Green Building, existen limitaciones para tomarla como referencia para la implementación de un campus sustentable en la Escuela Politécnica Nacional. Esto es debido a que, pese a que evalúa criterios emisiones de carbono, la energía, el agua, los desechos, el transporte, los materiales, la salud y la calidad ambiental interior, su enfoque está orientado específicamente a las edificaciones, por lo que descuida la inherente dinámica de una institución como la Escuela Politécnica Nacional y no considera aspectos clave como la educación e investigación.

Es por lo antes descrito que, en materia de campus sustentable, resulta conveniente para el presente caso de estudio tomar como referencia los lineamientos establecidos por UI GreenMetric, debido a que éste se encuentra especializado en la evaluación de campus universitarios, y considera seis ejes sustantivos, de los cuáles, el análisis energético es uno de los más importantes (con un 21% de la ponderación total). Adicionalmente, el cumplimiento de estos lineamientos le abre la posibilidad a la Escuela Politécnica Nacional de una eventual acreditación internacional como un campus sustentable por parte de esta entidad.

En cuanto a realizar una revisión documental de los avances de la Escuela Politécnica Nacional en materia de campus sustentable, se concluye que, si bien es cierto que existen progresos importantes en el establecimiento de lineamientos para avanzar hacia esa transición, los cuáles se encuentran principalmente resumidos en el Acta 9-18, en su resolución 60, de Consejo Politécnico, resultaría más conveniente, de cara a apuntar a una acreditación internacional en materia de campus sustentable, que la EPN adoptase los lineamientos (y sus respectivos indicadores) establecidos por UI GreenMetric, por sus reconocidos beneficios detallados en este documento.

En cuanto al tercer objetivo, luego de realizar el análisis de la situación actual del sistema energético eléctrico del Campus Rubén Orellana de la EPN desde la perspectiva de interés de un campus sustentable, tomando como referencia los indicadores establecidos por UI GreenMetric, se concluye que actualmente existen áreas de oportunidad para la Escuela Politécnica Nacional para mejorar en el cumplimiento de los indicadores asociados al tema energético, entre las más representativas se tiene a la necesidad de diseñar un plan para la eventual puesta en marcha de edificios inteligentes empleando la infraestructura ya existente, partiendo desde los de más reciente construcción; así como la instalación de fuentes de generación renovable no convencional en los predios del campus universitario que tengan una participación representativa respecto al consumo de energía del campus, ya que actualmente su participación es nula. En base al análisis de estos indicadores, y luego de aplicar la métrica descrita en este estudio, se determina una ponderación de 270 puntos para la situación actual del sistema.

Finalmente, atendiendo al cuarto objetivo propuesto, dentro de las medidas planteadas para mejorar el cumplimiento de los indicadores asociados al tema energético enmarcado en el contexto de un campus sustentable, se plantea convertir en edificios inteligentes al menos un 10% de la infraestructura existente, partiendo de los de reciente construcción, como es el caso del EARME. Adicionalmente, una de las principales medidas a considerar es la puesta en marcha de un sistema de generación renovable (fotovoltaico) dentro de los predios de la institución, para lo cual se ha hecho una propuesta viable para este fin, con lo que se implementarían 4 fuentes de generación y se conseguiría una reducción del 13% del consumo total de energía anual del Campus JRO de la Escuela Politécnica Nacional. En base al análisis de dichos indicadores, y luego de aplicar la métrica descrita en este estudio, se determina una ponderación de 750 puntos para la situación proyectada del sistema, lo que representa un incremento de 480 puntos, lo que sería un insumo valioso para la institución de cara a una eventual acreditación por parte de UI GreenMetric.

6. RECOMENDACIONES

Dada la naturaleza de este trabajo, se abre una serie de nuevas oportunidades de investigación en lo relacionado a campus sustentables; en este sentido se recomienda extender el alcance de nuevos trabajos vinculados a este tema en áreas como la puesta en marcha de un proyecto para reducir las emisiones contaminantes, la estimación de la huella de carbono neta respecto a la población del campus, y la implementación de programas y proyectos asociados al impacto sobre el cambio climático, los cuales complementarían de manera significativa el presente estudio de cara al cumplimiento de más indicadores establecidos por UI GreenMetric.

Se recomienda además explorar otras áreas posibles para la puesta en marcha de sistemas de generación fotovoltaica en la EPN, con la finalidad de ofrecer alternativas para mejorar más aún los indicadores asociados a la generación basada en renovables de este predio universitario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam, Cris. 2022. "What Is a Sustainable Campus? – Sustainable Campuses." *Dawson*. Retrieved September 21, 2022 (<https://www.dawsoncollege.qc.ca/sustainable-campuses/about-us/what-is-a-sustainable-campus/>).
- Akindeji, K. T., R. Tiako, and I. E. Davidson. 2019. "Use of Renewable Energy Sources in University Campus Microgrid – A Review." Pp. 76–83 in *2019 International Conference on the Domestic Use of Energy (DUE)*.
- Álvarez, María Franci, Ana Judith Zepeda, Ciro Serna Mendosa, and Diego Hernández García. 2019. "Responsabilidad Social Universitaria En Desarrollo Sostenible Redes Universitarias de Argentina, Chile y Colombia."
- Anon. n.d. "LEED Rating System | U.S. Green Building Council." Retrieved December 9, 2022 (<https://www.usgbc.org/leed>).
- Arruti, Carlos Ignacio González, and Anisse Jacinta Musalem Enríquez. 2021. "Las Instituciones de Educación Superior. Su Aporte a Las Políticas de Gestión Ambiental, y Algunas Constricciones Por La Covid-19." *Economía, Gobernanza y Sustentabilidad En América Latina* 207.
- Atici, Kazim Baris, Gokhan Yasayacak, Yilmaz Yildiz, and Aydin Ulucan. 2021. "Green University and Academic Performance: An Empirical Study on UI GreenMetric and World University Rankings." *Journal of Cleaner Production* 291:125289. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.125289.
- Borowy, Iris. 2021. "The Social Dimension of Sustainable Development at the UN: From Brundtland to the SDGs." Pp. 89–108 in *The Struggle for Social Sustainability*. Policy Press.
- Cabrera, Francisco Amar, and Hernando Uribe Castro. 2020. "Implementación de 'Campus Sostenible': Prácticas Ambientales Positivas En Una Universidad de Colombia." *Revista Educación Superior y Sociedad (ESS)* 32(2):251–77.
- Cáceres, Germán Marchant, and Rodrigo Sion. 2021. "¿ De Qué Hablamos Cuando Hablamos de Sustentabilidad y Mercado En La Educación Superior? Reflexiones Sobre El Caso de La Universidad de Chile 2010-2021." *Revista*

F@ Ro 2(34).

- Cadena Vela, Susana Graciela, and Robert Arturo Enríquez Reyes. 2017. "Portal de Datos Abiertos de La Universidad Central Del Ecuador." *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo* 1(2):85–90. doi: 10.29166/revfig.v1i2.73.
- CEPAL. 2022a. "About the 2030 Agenda for Sustainable Development | Economic Commission for Latin America and the Caribbean." Retrieved November 3, 2022 (<https://www.cepal.org/en/topics/2030-agenda-sustainable-development/about-2030-agenda-sustainable-development>).
- CEPAL. 2022b. "RIO+20 El Futuro Que Queremos." Retrieved September 19, 2022 (<https://www.cepal.org/rio20/es/index>).
- Dong, Bing, Vishnu Prakash, Fan Feng, and Zheng O'Neill. 2019. "A Review of Smart Building Sensing System for Better Indoor Environment Control." *Energy and Buildings* 199:29–46.
- EMAS. 2022. "Environment - European Commission." *European Commission*. Retrieved September 21, 2022 (https://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm).
- Enríquez, Sergio Félix, Noriega Ana Elsa Ortiz, and Montijo Fernández. Calles. 2018. "XXI Congreso Internacional Sobre Innovaciones En Docencia e Investigación En Ciencias Económico Administrativas C." *La Prevención Del Fracaso Escolar a Través Del Programa De Tutoría Y Los Datos Socio Económicos De Ingreso De Los Alumnos*. (311):26.
- EPN. 2016a. "Escuela Politécnica Nacional | Más Detalles!!" Retrieved September 20, 2022 (<https://www.epn.edu.ec/mas-detalles-48/>).
- EPN. 2016b. "Resolución Administrativa No.-015-2016."
- EPN. 2017a. "A Transformar La Poli En Un Campus Sustentable." Retrieved September 18, 2022 (<https://www.epn.edu.ec/mas-detalles-48/>).
- EPN. 2017b. "Consejo Politécnico, Acta-9-18, Resolución 60."
- EPN. 2017c. "Plan Institucional de Buenas Prácticas Ambientales 2017 Para La Aplicación de Las Políticas Para El Campus Sustentable de La EPN." 1–3.

- EPN. 2022. "Escuela Politécnica Nacional | Bienvenido Al Ecuador." *EPN*. Retrieved September 21, 2022 (<https://www.epn.edu.ec/bienvenido-al-ecuador/>).
- ESPOCH. 2022. "Espoch Lidera El Ranking Del UI Greenmetric World University." Retrieved September 24, 2022 (<https://www.espoch.edu.ec/index.php/component/k2/item/3168-espoch-lidera-el-ranking-del-ui-greenmetric-world-university.html>).
- ESPOL. 2022. "ESPOL Lidera El UI Green Metric World University Ranking En Ecuador | ESPOL." Retrieved September 24, 2022 (<https://www.espol.edu.ec/noticias/espoch-lidera-ui-green-metric-world-university-ranking-ecuador>).
- Estenssoro, Fernando. 2020. "Historia De América Latina En La Política Ambiental Mundial. De Estocolmo 1972 a Río De Janeiro 2012." *Revista Direito Em Debate* 29(54):6–20. doi: 10.21527/2176-6622.2020.54.6-20.
- European_Commission. 2022. "EMAS – Environment - European Commission." *Eco-Management and Audit Scheme*. Retrieved September 22, 2022 (https://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm).
- Fabricio, Marco, Muyulema Cholota, Wilma Alexandra, and Pachacama Toapanta. 2021. "Análisis De La Calidad De La Energía Eléctrica En El Campus De La Escuela Politécnica Nacional." Escuela Politécnica Nacional.
- FSU. 2022. "Sustainable Campus." *Florida State University*. Retrieved September 21, 2022 (<https://sustainablecampus.fsu.edu/>).
- Gomes, Luciana Paulo, Marcelo Oliveira Caetano, Susana Margarida Brand, Léa Beatriz Dai-Prá, and Brenda Natalia Pereira. 2022. "Maintenance of an Environmental Management System Based on ISO 14001 in a Brazilian Private University, Seeking Sustainable Development." *International Journal of Sustainability in Higher Education*.
- Gomes, Sónia Ferreira. 2022. "Sustainable Development in Higher Education in Business Sciences: A Multidimensional Analysis in the Portuguese Context."
- Greenland, Steven, Muhammad Saleem, Roopali Misra, and Jon Mason. 2022. "Sustainable Management Education and an Empirical Five-Pillar Model of

- Sustainability.” *The International Journal of Management Education* 20(3):100658. doi: 10.1016/J.IJME.2022.100658.
- Hadjidemetriou, L., L. Zacharia, E. Kyriakides, B. Azzopardi, S. Azzopardi, R. Mikalauskiene, S. Al-Agtash, M. Al-hashem, A. Tsolakis, D. Ioannidis, and D. Tzouvaras. 2018. “Design Factors for Developing a University Campus Microgrid.” Pp. 1–6 in *2018 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*.
- Heath Moncada, Luis Leonel. 2021. *Campus Sustentable de La UPSRJ*. Universidad del Rosario.
- ISO. 2022a. “ISO - ISO 14000 Family — Environmental Management.” *International Standard Organization*. Retrieved September 21, 2022 (<https://www.iso.org/iso-14001-environmental-management.html>).
- ISO. 2022b. “ISO - ISO 14001 - Key Benefits.” *International Standard Organization*. Retrieved September 21, 2022 (<https://www.iso.org/publication/PUB100372.html>).
- ISO. 2022c. “ISOWin: El Sistema de Gestión En Las Normas ISO.” Retrieved November 6, 2022 (<https://isowin.org/blog/sistema-gestion-ISO-9001/>).
- Joy, Aleena. 2019. “Framework for the Implementation of ISO 14001 in Educational Campuses.” *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology* 5(3):1983–85.
- Juan Pérez, José Isabel, José Luis Montesillo Cedillo, and Irma Eugenia García López. n.d. “Estudio Socioambiental Del Campus Ciudad Universitaria. Universidad Autónoma Del Estado de México. Estrategia de Investigación-Docencia Para La Sustentabilidad.”
- Keeble, Brian R. 1988. “The Brundtland Report: ‘Our Common Future.’” *Medicine and War* 4(1):17–25. doi: 10.1080/07488008808408783.
- Leal Filho, Walter, Nelson Amaro, Lucas Veiga Avila, Luciana Brandli, Luana Ines Damke, Claudio R. P. Vasconcelos, Paula M. Hernandez-Diaz, Fernanda Frankenberger, Bárbara Fritzen, and Luis Velazquez. 2021. “Mapping Sustainability Initiatives in Higher Education Institutions in Latin America.”

Journal of Cleaner Production 315:128093.

- Macin, Kadriye Elif, Osman Atilla Arikan, and Ibrahim Demir. 2020. "The UI Green Metric Ranking System: Analyzing Impacts of Categories on Overall Results." (December 2020).
- Mawonde, Albert, and Muchaiteyi Togo. 2019. "Implementation of SDGs at the University of South Africa." *International Journal of Sustainability in Higher Education*.
- Mendoza, Joan Manuel F., Alejandro Gallego-Schmid, and Adisa Azapagic. 2019. "A Methodological Framework for the Implementation of Circular Economy Thinking in Higher Education Institutions: Towards Sustainable Campus Management." *Journal of Cleaner Production* 226:831–44.
- Menon, Shalini, and M. Suresh. 2020. "Synergizing Education, Research, Campus Operations, and Community Engagements towards Sustainability in Higher Education: A Literature Review." *International Journal of Sustainability in Higher Education*.
- MITECO. 2022. "Resultados de La COP21." Retrieved September 19, 2022 (<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/cumbre-cambio-climatico-cop21/resultados-cop-21-paris/default.aspx>).
- Mohammadalizadehkorde, Milad, and Russell Weaver. 2018. "Universities as Models of Sustainable Energy-Consuming Communities? Review of Selected Literature." *Sustainability* 10(9):3250.
- Mohammed, Ahmed M. S., Tetsuya Ukai, and Michael Hall. 2022. "Towards a Sustainable Campus-City Relationship: A Systematic Review of the Literature." *Regional Sustainability* 3(1):53–67. doi: 10.1016/J.REGSUS.2022.03.004.
- ONU. 1987. *Informe de La Comisión Mundial Sobre Medio Ambiente y El Desarrollo: Nuestro Futuro Común (No. A/42/427). Asamblea General*. Brundland.
- ONU. 2022a. "De Los ODM a Los ODS | Sustainable Development Goals Fund." Retrieved September 18, 2022 (<https://www.sdgfund.org/es/de-los-odm-los-ods>).

- ONU. 2022b. “Naciones Unidas: Cumbre de Johannesburgo 2002.” *ONU*. Retrieved September 19, 2022 (https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/cumbre_ni.htm).
- ONU. 2022c. “Presidente de La Asamblea General de Las Naciones Unidas.” Retrieved September 19, 2022 (<https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>).
- Pereira Ribeiro, João Marcelo, Lenoir Hoeckesfeld, Cristian Baú Dal Magro, Jacir Favretto, Rodrigo Barichello, Fernando Cesar Lenzi, Leonardo Secchi, Carlos Rogério Montenegro de Lima, and José Baltazar Salgueirinho Osório de Andrade Guerra. 2021. “Green Campus Initiatives as Sustainable Development Dissemination at Higher Education Institutions: Students’ Perceptions.” *Journal of Cleaner Production* 312:127671. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.127671.
- Quishpe, Jhonathan. 2020. “Diseño de Una Central Fotovoltaica Para El Abastecimiento de Energía Eléctrica Del Campus de La Escuela Politécnica Nacional.” 1–114.
- Ruggerio, Carlos Alberto. 2021. “Sustainability and Sustainable Development: A Review of Principles and Definitions.” *Science of the Total Environment* 786:147481.
- Safarkhani, Melody, and Muhammed Ali Örnek. 2022. “The Meaning of Green Campus in UI GreenMetric World University Rankings Perspective.” *A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture* 19(2):315–34. doi: 10.5505/itujfa.2022.22566.
- Shah, Abdul Salam, Haidawati Nasir, Muhammad Fayaz, Adidah Lajis, and Asadullah Shah. 2019. “A Review on Energy Consumption Optimization Techniques in IoT Based Smart Building Environments.” *Information* 10(3):108.
- da Silva, Luiz C. P., Marcelo G. Villalva, Madson C. de Almeida, José L. P. Brittes, Jorge Yasuoka, João G. I. Cypriano, Daniel Dotta, José Tomaz V Pereira, Mauricio B. C. Salles, and Giuliano Bolognesi Archilli. 2018. “Sustainable Campus Model at the University of Campinas—Brazil: An Integrated Living Lab for Renewable Generation, Electric Mobility, Energy Efficiency, Monitoring and

Energy Demand Management.” Pp. 457–72 in *Towards Green Campus Operations*. Springer.

Soltani, Ali, Andrew Allan, Ha Anh Nguyen, and Stephen Berry. 2019. “Students’ Commuting Pattern from the Viewpoint of Environmentalism: Comparing Australia with China.” *International Journal of Sustainability in Higher Education* 20(1):91–114.

Suwartha, Nyoman, and Mohammed Ali Berawi. 2019. “The Role of UI GreenMetric as a Global Sustainable Ranking for Higher Education Institutions.” *Int. J. Technol* 10:862–65.

UI_GreenMetric. 2021a. “Detail Rankings 2021 - Escuela Superior Politecnica de Chimborazo - UI GreenMetric.” Retrieved September 24, 2022 (<https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2021/epoch.edu.ec>).

UI_GreenMetric. 2021b. “Detail Rankings 2021 - Escuela Superior Politecnica Del Litoral - UI GreenMetric.” Retrieved September 24, 2022 (<https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2021/espol.edu.ec>).

UI_GreenMetric. 2021c. “Detail Rankings 2021 - Universidad Hemisferios - UI GreenMetric.” Retrieved September 24, 2022 (<https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2021/uhemisferios.edu.ec>).

UI_GreenMetric. 2021d. “Detail Rankings 2021 - Universidad Politécnica Estatal Del Carchi - UI GreenMetric.” Retrieved September 24, 2022 (<https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2021/upec.edu.ec>).

UI_GreenMetric. 2021e. “Detail Rankings 2021 - Universidad Tecnica Del Norte - UI GreenMetric.” Retrieved September 24, 2022 (<https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2021/utn.edu.ec>).

UI_GreenMetric. 2021f. “Detail Rankings 2021 - Universidad Tecnologica ECOTEC - UI GreenMetric.” Retrieved September 24, 2022 (<https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2021/ecotec.edu.ec>).

UI_GreenMetric. 2022. “Ranking by Country 2021 - Ecuador - UI GreenMetric.” Retrieved September 24, 2022 (<https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/ranking->

by-country-2021/Ecuador).

UI GreenMetric. 2022. "Methodology - UI GreenMetric." Retrieved September 22, 2022 (<https://greenmetric.ui.ac.id/about/methodology>).

UI GREENMETRIC. 2020. "UI GREENMETRIC." Retrieved October 1, 2020 (<http://greenmetric.ui.ac.id/>).

ULEAM. 2019. "Estadísticas Univerisidad Laica Eloy Alfaro de Manabí." *Univerisidad Laica Eloy Alfaro de Manabí*. Retrieved September 21, 2022 (<https://www.uleam.edu.ec/21-mil-estudiantes-inician-periodo-academico/>).

UN. 2022a. "¿Qué Son Las Energías Renovables? | Naciones Unidas." Retrieved September 25, 2022 (<https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>).

UN. 2022b. "Asamblea General de Las Naciones Unidas." Retrieved September 18, 2022 (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>).

UN. 2022c. "THE 17 GOALS | Sustainable Development." Retrieved September 18, 2022 (<https://sdgs.un.org/goals>).

Universitas_Indonesia. 2020. *UI GreenMtric Guideline*.

WGBC. 2022a. "The Benefits of Green Buildings | World Green Building Council." *World Green Building Council*. Retrieved September 21, 2022 (<https://www.worldgbc.org/benefits-green-buildings>).

WGBC. 2022b. "What Is Green Building? | World Green Building Council." Retrieved September 21, 2022 (<https://www.worldgbc.org/what-green-building>).

Xiong, Weiyan, and Ka Ho Mok. 2020. "Sustainability Practices of Higher Education Institutions in Hong Kong: A Case Study of a Sustainable Campus Consortium." *Sustainability* 12(2):452.

Yang, Minghui, Jiawen Wang, and Gaoyi Li. 2022. "Higher Education for Sustainable Development in China: Policies, Curriculum, Research, and Outreach Activities, and Campus Practices." Pp. 121–32 in *Engagement with Sustainable Development in Higher Education*. Springer.

Zhu, Yingming, Fu Wang, and Jinyue Yan. 2018. "The Potential of Distributed Energy Resources in Building Sustainable Campus: The Case of Sichuan University." *Energy Procedia* 145:582–85. doi: 10.1016/J.EGYPRO.2018.04.085.

Zutshi, Ambika, Andrew Creed, and Brian L. Connelly. 2018. "Education for Sustainable Development: Emerging Themes from Adopters of a Declaration." *Sustainability* 11(1):156.

ANEXOS

Anexo I – Alimentadores que abastecen de energía al Campus JRO de la Escuela Politécnica Nacional (Fabricio et al. 2021).

Tabla 8 Alimentadores que abastecen de energía al Campus JRO de la Escuela Politécnica Nacional (Fabricio et al. 2021).

Alimentador	Subestación	Voltaje del alimentador
12A	Subestación N° 12 - La Floresta	6.3 kV
32A	Subestación N° 32 - Diez Nueva	6.3 kV

Anexo II – Cargas asociadas al alimentador primario 12A (Fabricio et al. 2021).

Tabla 9 Cargas asociadas al alimentador primario 12A (Fabricio et al. 2021).

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR	CARGAS
Mecánica 1	Convencional Trifásico 200 [kVA] Voltaje Primario: 6000 [V] Voltaje Secundario: 220/127 [V] Conexión: Dy5	Aulas Mecánica, Instituto de Ciencias Básicas (ICB)
Mecánica 2	Trifásico 160 [kVA] Voltaje Primario: 6300/6150/6000/5850/5700 [V] Voltaje Secundario: 460/288 [V] Conexión: Dy5	Horno Inducción del Laboratorio Fundición
Mecánica 3	Convencional Trifásico 110 [kVA] Voltaje Primario: 6300/6000/5700 [V] Voltaje Secundario: 210/121 [V] Conexión: Dy5	Edificio Mecánica Laboratorio y Aulas (Circuito1 y Circuito2)
Eléctrica Antigua	Convencional Trifásico 170 [kVA] Voltaje Primario: 6300/6150/6000/5700 [V] Voltaje Secundario: 231/133 [V] Conexión: Dy5	Edificio Eléctrica Antigua

Eléctrica - Química	<p>Convencional Trifásico</p> <p>300 [kVA]</p> <p>Voltaje Primario: 6000 [V]</p> <p>Voltaje Secundario: 210 [V]</p> <p>Conexión: Dy5</p>	Edificio Eléctrica - Química
Química	<p>Convencional Trifásico</p> <p>170 [kVA]</p> <p>Voltaje Primario: 6300/6150/6000/5700 [V]</p> <p>Voltaje Secundario: 231/133 [V]</p> <p>Conexión: Dy5</p>	Edificio de Química
Sistemas	<p>Convencional Trifásico</p> <p>315 [kVA]</p> <p>Voltaje Primario: 6000 [V]</p> <p>Voltaje Secundario: 208Y/120 [V]</p> <p>Conexión: Dy5</p>	Edificio Facultad de Sistemas
Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos	<p>Pad-Mounted Trifásico</p> <p>225 [kVA]</p> <p>Voltaje Primario: 6300/6150/6000/5700 [V]</p> <p>Voltaje Secundario: 210/121 [V]</p> <p>Conexión: Dy5</p>	Laboratorio CIERHI
Metalúrgica	<p>Convencional Trifásico</p> <p>45 [kVA]</p> <p>Voltaje Primario: 6000 [V]</p>	Taller Metalurgia

Aulas y Relación con el Medio Externo	Convencional Trifásico 500 [kVA] Voltaje Primario: 6000 [V]	EARME (CEC) Taller Metal Mecánica Laboratorio Metalurgia
---------------------------------------	---	--

Anexo III – Cargas asociadas al alimentador primario 32E (Fabricio et al. 2021).

Tabla 10 Cargas asociadas al alimentador primario 32E (Fabricio et al. 2021).

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR	CARGAS
EPN TECH	Convencional Trifásico 50 [kVA] Voltaje Primario: 6000 [V] Voltaje Secundario: 208Y/120 [V] Conexión: Dy5	Edificio EPN TECH
Cámara Civil y Ambiental	Convencional Trifásico 160 [kVA] Voltaje Primario: 6000 [V] Voltaje Secundario: 220/127 [V] Conexión: Dy5	Edificio Facultad Civil y Ambiental
Teatro Politécnico	Pad-Mounted Trifásico 300 [kVA] Voltaje Primario: 6000 [V] Voltaje Secundario: 208Y/120 [V] Conexión: Dy5	Administración (Edificio central, Teatro politécnico) Edificio Facultad de Ciencias
Hidráulica	Pad-Mounted Trifásico 112.5 [kVA] Voltaje Primario: 6300 [V]	Edificio Hidráulica

Departamento de Ciencias Nucleares	Pad-Mounted Trifásico 300 [kVA] Voltaje Primario: 6000 [V] Voltaje Secundario: 208Y/120 [V] Conexión: Dy5	Edificio Servicios Generales Centro de Investigaciones aplicada a Polímeros
Escuela de formación de tecnólogos (ESFOT)	Convencional Trifásico 45 [kVA] Voltaje Primario: 6000 [V] Voltaje Secundario: 220Y/127 [V] Conexión: Dy11	Aulas ESFOT

Anexo IV –Mediciones en sitio para estimación de la demanda (Fabricio et al. 2021).

Para este fin se tomó en cuenta aquellos edificios considerados principales, ya que constituyen una referencia en relación con carga. Para cada edificio seleccionado, se establece 7 días de medición continua en intervalos de dos minutos y treinta segundos. El punto de medición se ubica en el lado de bajo voltaje de los transformadores que alimentan a cada edificio, ubicándose el analizador lo más cercano a la carga (Fabricio et al. 2021).

Con la finalidad de evidenciar el proceso de medición a continuación se describe el proceso realizado en el Edificio de Relación con el Medio Externo, el cual se abastece de energía desde un transformador convencional trifásico con una capacidad de 500 kVA, voltaje primario 6000 V, voltaje secundario 220/127 V y conexión Dy5. En la se puede observar la conexión del analizador de redes en la cámara de transformación.



Figura 11 – Conexión del analizador de redes en el lado de baja tensión del transformador que alimenta el edificio de relación con el medio externo. Fuente: (Fabricio et al. 2021).

Anexo V – Consideraciones generales para la Puesta en marcha de un sistema de generación fotovoltaico (Quishpe 2020).

De cara a la potencial Puesta en marcha de un sistema de este tipo, luego de asegurar la disponibilidad del recurso primario, es decir, la energía solar, uno de los principales desafíos es determinar la disponibilidad de espacio para los paneles solares.

Es así como, en función del plano arquitectónico del Campus Politécnico, en el cual se especifica las dimensiones de los sitios posibles, se considera como una opción viable emplear las zonas de los parqueaderos, conforme se indica a continuación.

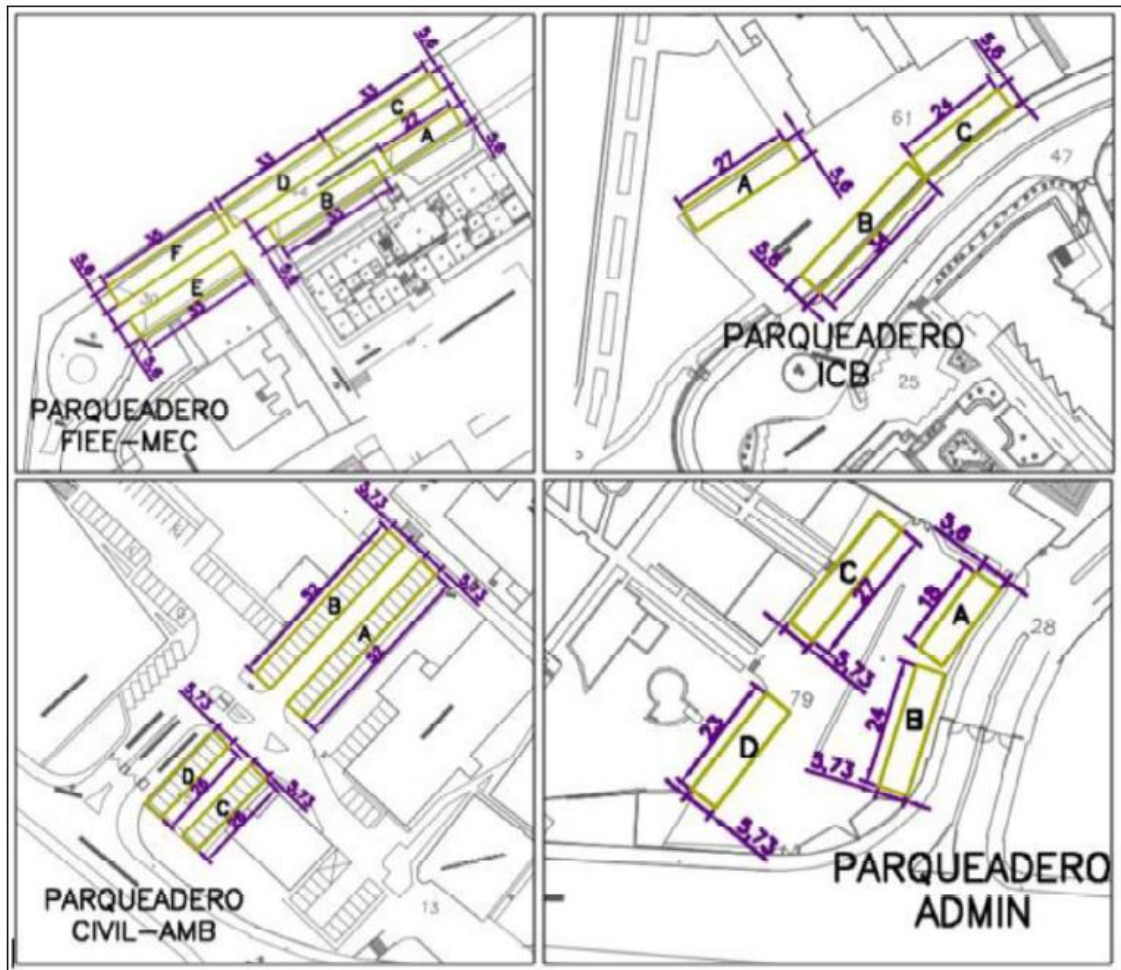


Figura 12 – Ubicación en el plano de las posibles zonas para el emplazamiento del sistema de generación fotovoltaico Fuente: (Quishpe 2020).

Dado el principio técnico de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos debe considerarse el denominado factor de sombras. En esta zona existen edificaciones alrededor, por lo que es necesario tomar en cuenta el factor de sombras. En este proyecto se toma como consideración eliminar las superficies con un porcentaje de pérdidas por sombreado superior al 20%, en función de lo cual es posible obtener la información detallada en la Tabla 11 Tabla 10 (Quishpe 2020).

Tabla 11 Superficies disponibles y sus dimensiones (Quishpe 2020).

Parqueadero	Lote	Factible [SI/NO]	Dimensiones por lote			Área máxima disponible [m ²]
			Largo [m]	Ancho [m]	Área [m ²]	
FIEE - MEC	A	SI	22	5.6	123.2	873.6
	B	NO	33	5.6	184.8	
	C	SI	33	5.6	184.8	
	D	SI	33	5.6	184.8	
	E	SI	33	5.6	184.8	
	F	SI	35	5.6	196	
ICB	A	SI	27	5.6	151.2	476
	B	SI	34	5.6	190.4	
	C	SI	24	5.6	134.4	
CIVL - AMB	A	NO	52	5.73	297.96	595.92
	B	SI	52	5.73	297.96	
	C	SI	26	5.73	148.98	
	D	SI	26	5.73	148.98	
ADMIN	A	SI	18	5.6	100.8	393.42
	B	SI	24	5.73	154.71	
	C	SI	27	5.73	154.71	
	D	NO	23	5.73	131.79	
						2338.55

En base a lo expuesto en la en la Tabla 11 Tabla 10, se descartan 3 lotes por considerarse no factibles, con lo que se obtiene la Tabla 12, en donde se presentan las superficies disponibles y sus dimensiones.

Debido a que esta propuesta de diseño corresponde a una central de tipo parqueadero solar y por tanto las Superficies resultan limitadas a los grupos de estacionamientos que pueden estar o no separados y además por la variación del efecto de las sombras para cada sector, se descentraliza la generación, es decir, que de forma general se representa a cada parqueadero como una pequeña central fotovoltaica.

Tabla 12 Superficies disponibles y sus dimensiones. Fuente:(Quishpe 2020).

Parqueadero	Lote	Paneles a lo ancho de la superficie	Paneles a lo largo de la superficie	Paneles por lote	Paneles por parqueadero
FIEE-MEC	A	5	13	65	470
	C	5	20	100	
	D	5	20	100	
	E	5	20	100	
	F	5	21	105	
ICB	A	5	16	80	250
	B	5	20	100	
	C	5	14	70	
CIVL-AMB	B	5	31	155	305
	C	5	15	75	
	D	5	15	75	
ADMIN	A	5	10	50	200
	B	5	14	70	
	C	5	16	80	
				Total	1225

Luego de estimar el número máximo de paneles solares para cada lote, por se procede a calcular la potencia máxima generada para cada uno de los lotes y solamente para el escenario correspondiente a la distribución ya elegida, es decir, la vertical, lo que se resume en la Tabla 13.

El siguiente paso consiste en el dimensionamiento y selección del inversor fotovoltaico, para lo que se calcula su potencia nominal a partir de la potencia de máxima de generación disponible. Se asume que puede estar entre el 0.8 y 0.9 de la potencia máxima de generación disponible la potencia nominal del inversor. La Tabla 14 muestra el rango de valores para cada caso para la selección de la potencia nominal del inversor.

En función de lo anterior es posible determinar la potencia de cada inversor en función de valores nominales (de equipos comerciales), como se detalla en la Tabla 15. En base a esta consideración, es posible determinar el arreglo fotovoltaico de cada lote y cantidad total de paneles, como se muestra en la Tabla 16.

Finalmente, es en función de este arreglo que se determina las características finales del sistema fotovoltaico, cuyo resumen se presenta en la Tabla 17.

Tabla 13 Potencia disponible de generación fotovoltaica (Quishpe 2020).
Fuente:(Quishpe 2020).

Parqueadero	Lote	Cantidad máxima de paneles	Potencia máxima de generación disponible [kWp]
FIEE-MEC	A	66	20.79
	C	99	31.19
	D	99	31.19
	E	99	31.19
	F	105	33.08
ICB	A	81	25.52
	B	102	32.13
	C	72	22.68
CIVL-AMB	B	156	49.14
	C	78	24.57
	D	78	24.57
ADMIN	A	54	17.01
	B	72	22.68
	C	81	25.52
		Total	391.23

Tabla 14 Valores (rango) para la selección de la potencia nominal del inversor.
Fuente:(Quishpe 2020).

Parqueadero	Lote	Rango de la potencia nominal [kW]	
FIEE-MEC	A	16.63	18.71
	C	24.95	28.07
	D	24.95	28.07
	E	24.95	28.07
	F	26.46	29.77
ICB	A	20.41	22.96
	B	25.7	28.92
	C	18.14	20.41
CIVL-AMB	B	39.31	44.23
	C	19.66	22.11
	D	19.66	22.11
ADMIN	A	13.61	15.31
	B	18.14	20.41
	C	20.41	22.96

Tabla 15 Potencia nominal del inversor de cada lote. Fuente:(Quishpe 2020).

Parqueadero	Lote	Potencia nominal del inversor [kW]	Cantidad máxima de paneles reajustada
FIEE-MEC	A	15	57
	C	25	99
	D	25	99
	E	25	99
	F	25	99
ICB	A	20	78
	B	25	99
	C	20	72
CIVL-AMB	B.1	20	78
	B.2	20	78
	C	20	78
	D	20	78
ADMIN	A	15	54
	B	20	72
	C	20	78

Tabla 16 Arreglo fotovoltaico de cada lote y cantidad total de paneles. Fuente:(Quishpe 2020).

Parqueadero	Lote	Paneles en serie	Ramales	Cantidad total de paneles por lote
FIEE-MEC	A	19	3	57
	C	16	6	96
	D	16	6	96
	E	16	6	96
	F	16	6	96
ICB	A	18	4	72
	B	16	6	96
	C	18	4	72
CIVL-AMB	B.1	18	4	72
	B.2	18	4	72
	C	18	4	72
	D	18	4	72
ADMIN	A	18	3	54
	B	18	4	72
	C	18	4	72

Tabla 17 Resumen de los sistemas de generación fotovoltaica propuestos.
Fuente:(Quishpe 2020).

Parqueadero solar fotovoltaico	Cantidad total de paneles solares	Área total [m ²]	Potencia nominal total [kW]	Potencia pico del generador [kWp]
FIEE-MEC	441	721.83	115	138.92
ICB	240	392.83	65	75.6
CIVL-AMB	288	471.4	80	90.72
ADMIN	198	324.09	55	62.37

Para los fines del presente estudio, uno de los resultados de mayor interés es la energía promedio generado por el sistema fotovoltaico propuesto, cuyo resumen se presenta en la Tabla 18.

Tabla 18 Energía diaria generada por el sistema fotovoltaico propuesto. Fuente:(Quishpe 2020).

Mes	Energía promedio diaria [kWh/día]			
	FIEE-MEC	ICB	CIVIL-AMB	ADMIN
Enero	508.5706	276.7731	289.9807	228.3378
Febrero	497.7027	270.8586	283.784	223.4583
Marzo	545.1671	296.6896	310.8476	244.7689
Abril	488.7035	265.9611	278.6527	219.4179
Mayo	469.249	255.3736	267.56	210.6832
Junio	581.9954	316.7322	331.8466	261.304
Julio	613.3194	333.7793	349.7072	275.3679
Agosto	613.6505	333.9594	349.896	275.5165
Septiembre	573.5347	312.1277	327.0225	257.5054
Octubre	554.7252	301.8913	316.2975	249.0603
Noviembre	511.4326	278.3307	291.6126	229.6228
Diciembre	534.401	290.8305	304.7089	239.9351

Finalmente, se presenta la energía estimada que genera cada parqueadero solar fotovoltaico en un periodo mensual y anual, como se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19 Energía generada por el sistema fotovoltaico propuesto. Fuente:(Quishpe 2020).

Mes	Energía promedio mensual [kWh/mes]			
	FIEE-MEC	ICB	CIVIL-AMB	ADMIN
Enero	15765.687	8579.966	8989.402	7078.472
Febrero	13935.675	7584.041	7945.951	6256.834
Marzo	16900.181	9197.377	9636.276	7587.836
Abril	14661.105	7978.832	8359.582	6582.537
Mayo	14546.719	7916.582	8294.361	6531.18
Junio	17459.861	9501.965	9955.399	7839.121
Julio	19012.902	10347.16	10840.92	8536.405
Agosto	19023.164	10352.74	10846.78	8541.013
Septiembre	17206.042	9363.832	9810.674	7725.162
Octubre	17196.482	9358.63	9805.224	7720.87
Noviembre	15342.977	8349.92	8748.378	6888.684
Diciembre	16566.43	9015.744	9445.975	7437.989
Energía anual [MWh/año]	197.61723	107.5468	112.6789	88.7261