



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

TEMA:

**“METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE HUELLA ECOLÓGICA Y SU
MODELACIÓN DINÁMICA EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA
ELENA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES:

SMITH BANCHÓN JEAN PIERRE

RIVERA SUÁREZ AISHA SUSANA

TUTOR:

ING. MUYULEMA ALLAICA JUAN CARLOS, PhD.

LA LIBERTAD - ECUADOR

2025

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAL

TEMA:

“METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE HUELLA ECOLÓGICA Y SU MODELACIÓN DINÁMICA EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

BANCHÓN SMITH JEAN PIERRE

RIVERA SUÁREZ AISHA SUSANA

TUTOR:

ING. MUYULEMA ALLAICA JUAN CARLOS, PhD.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

UPSE

APR CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por Smith Banchón Jean Pierre y Rivera Suárez Aisha Susana como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Industrial.

TUTOR

f. 

Ing. Muyulema Allaiica Juan Carlos, PhD.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. 

Ing. Balón Ramos Isabel del Rocío, M.Sc.

La Libertad, a los 10 del mes de Julio del año 2025

DECLARACIÓN DE APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE HUELLA ECOLÓGICA Y SU MODELACIÓN DINÁMICA EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA”, elaborado por el Sr. Smith Banchón Jean Pierre y la Srta. Rivera Suárez Aisha Susana, estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingenieros Industriales, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR

f. 

Ing. Muyulema Ahaica Juan Carlos, PhD.

La Libertad, a los 10 del mes de Julio del año 2025

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Smith Banchón Jean Pierre** y **Rivera Suárez Aisha Susana**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, “METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE HUELLA ECOLÓGICA Y SU MODELACIÓN DINÁMICA EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA” previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 10 del mes de julio del año 2025

AUTORES

f. 

Smith Banchón Jean Pierre

f. 

Rivera Suárez Aisha Susana

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Smith Banchón Jean Pierre** y **Rivera Suárez Aisha Susana**

Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena la publicación en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE HUELLA ECOLÓGICA Y SU MODELACIÓN DINÁMICA EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 10 del mes de julio del año 2025

AUTORES

f.  _____

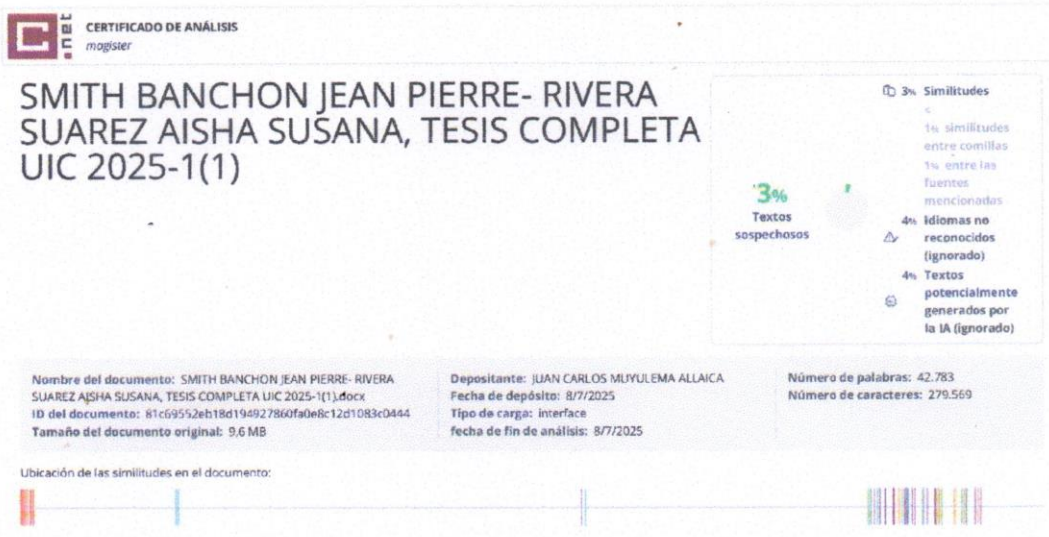
Smith Banchón Jean Pierre

f. Aisha Rivera _____

Rivera Suárez Aisha Susana

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE HUELLA ECOLÓGICA Y SU MODELACIÓN DINÁMICA EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA” elaborado por el Sr. **Smith Banchón Jean Pierre** y la Srta. **Rivera Suárez Aisha Susana**, egresados de la carrera de Ingeniería de Industrial, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio Compilatio Magister, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 3% de la valoración permitida por consiguiente se procede a emitir el presente informe.



Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,

TUTOR

f. _____

Ing. Muyulema Allaica Juan Carlos, PhD.

C.C.: 0603932450

Certificado

de gramática

Santa Elena, 06 de julio del 2025

Yo, **Mónica Isabel Paredes Castro**, Magíster en Educación Básica, con registro de la **SENECYT N° 1023-2024-2904505** por medio del presente certifico que:

Después de revisar y corregir la sintaxis y ortografía del trabajo investigativo titulado **“METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE HUELLA ECOLÓGICA Y SU MODELACIÓN DINÁMICA EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA”** elaborado por los estudiantes **JEAN PIERRE SMITH BANCHÓN** y **AISHA SUSANA RIVERA SUÁREZ** en su opción al título de **INGENIERO INDUSTRIAL** en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, puedo afirmar que el trabajo está apto para ser defendido.

Sin otro particular.



Firmado electrónicamente por:
**MONICA ISABEL
PAREDES CASTRO**
Validar únicamente con Firma&C

Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.

C.I: 0605353143

Celular: 0969917044

Correo: misabelp1017@gmail.com

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por concederme la sabiduría necesaria para poder afrontar con éxito los diversos desafíos que surgieron a lo largo de mi formación universitaria. Por ayudarme a tomar decisiones que, aunque no siempre eran las correctas, fueron las necesarias para mi vida.

A mi familia, por su apoyo incondicional durante todo este proceso. Gracias por creer en mí, incluso en aquellos momentos en los que yo mismo dudé. A mis padres, por los innumerables sacrificios que ambos hicieron para que yo pudiera llegar a donde estoy hoy. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

Extiendo un agradecimiento muy especial a mi enamorada, Brittani Beltrán, quien fue clave en los inicios de este trabajo de investigación. Gracias por darme la motivación necesaria para no quedarme atrás y ayudarme a ver con claridad el valor de mi trabajo. Tu influencia fue decisiva para que pudiera presentar este tema a tiempo, y tu presencia ha sido fundamental a lo largo de este camino.

A mis amigos de la carrera, gracias por siempre brindarme un consejo, darme palabras de aliento y compartir conmigo tanto en los momentos de alegría como en los de incertidumbre. Gracias por su apoyo, por hacer este camino más llevadero y llenar de bonitos recuerdos lo que fue esta carrera.

A todos los docentes que fueron mis profesores en la carrera, gracias por compartir sus conocimientos con dedicación y compromiso. Todas sus enseñanzas no solo me ayudaron a crecer de manera académica, sino también como persona. Agradezco la paciencia con la que guiaron mi aprendizaje.

Finalmente, mi más sincero agradecimiento al Ing. Juan Carlos Muyulema, tutor de esta tesis, por el tiempo dedicado a guiar este trabajo de investigación. Sus observaciones y orientaciones me ayudaron a tener un mejor desempeño en el desarrollo de este trabajo. Su apoyo ha sido clave para culminar con éxito esta etapa tan significativa de mi formación profesional.

Jean Pierre Smith

AGRADECIMIENTOS

A quienes me acompañaron con paciencia, con fe y con humanidad en este camino, gracias.

A mi familia, gracias por ser mi sostén y mi refugio. Por estar ahí en todo momento, sin reservas, sin condiciones. Por apoyarme sin cuestionamientos, por creer en mí incluso cuando me rendía, y por hacer de cada obstáculo algo posible de superar.

A mis docentes, por haber sido mucho más que transmisores de conocimiento. A quienes enseñaban sin generar temor al error, a quienes supieron guiarnos también desde lo humano, y a quienes alguna vez brindaron un consejo que hizo más llevadero el trayecto. En especial, quien vio en mí más de lo que yo misma podía ver en ciertos momentos, gracias por impulsar mis capacidades y confiar en mi participación como estudiante.

A mi tutor de tesis, gracias por su dedicación y claridad, por guiarnos con profesionalismo y por siempre tener tiempo para nuestras dudas. Fue un privilegio aprender bajo su acompañamiento.

A los amigos que conocí en esta etapa, gracias por las risas que rompieron el estrés, por los trabajos compartidos, por los momentos sinceros de apoyo. Incluso si hoy ya no están cerca, no importa la duración de su presencia, sino lo que significó.

Aisha Rivera

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a la memoria de mi abuelito, Ecuador Agustín Banchón Figueroa, quien por muchos años cuidó de mí. Gracias por haberme enseñado el valor del esfuerzo, la honestidad y la importancia de alcanzar las metas que uno se propone. Aunque ya no estés físicamente, tu presencia y enseñanzas siguen guiando mis pasos día a día.

A mi mamá, Sadie Banchón, y a mi papá, Alexander Smith, por su amor incondicional, su apoyo y los sacrificios que ambos hicieron para que yo pudiera alcanzar este sueño. Con mucho orgullo y gratitud, les dedico esta tesis a ustedes.

Jean Pierre Smith

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre.

Aunque la vida no te alcanzó para verme llegar hasta aquí, fuiste tú quien me mostró el camino. Tú, que elegiste conmigo esta carrera, que me llevaste tantas veces a clases con la ilusión de verme convertida en profesional, que te preocupaste por cada decisión académica, por cada problema que enfrentaba, por cada paso que daba. Tu partida fue mi mayor prueba, pero también la mayor razón para no rendirme. El cáncer me quitó tu presencia, pero no tu voz. Hoy, más que nunca, te escucho susurrando “tú puedes”. Esta dedicatoria es para ti, que sigues siendo mi impulso, mi orgullo más grande y mi amor eterno.

A mi madre, que, desde su manera silenciosa, supo acompañarme. Tus cuidados, tus atenciones cuando yo apenas podía con el cansancio, tus detalles mientras yo estudiaba o trasnochaba, fueron un abrazo que muchas veces sostuvo lo que yo no podía verbalizar.

A mi hermano, el ingeniero que me enseñó con su ejemplo que sí se podía. Por ser mi refugio cuando el mundo pesaba demasiado, por ser el apoyo incondicional que nunca faltó.

A mi hermana, por hacerme más fácil la vida universitaria, ayudándome cada vez que llamaba y salvándome cuando el tiempo me faltaba.


A mi pareja, quien ha estado a mi lado en las madrugadas de frustración y agotamiento. Por sostenerme cuando sentía que todo era demasiado, recordarme que soy suficiente.

A mis mascotas, mis pequeños amores incondicionales, quienes con solo existir aliviaron ansiedades, secaron lágrimas y acompañaron sin juzgar. Fueron calor y consuelo en mis peores días.

Y al más importante, ese Dios bueno y lleno de bondad, que ha sido el puente entre mi alma herida y la presencia eterna de mi padre.

Aisha Rivera

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.  _____

Ing. Isabel del Rocío Balón Ramos, M.Sc.

DIRECTOR DE CARRERA

f.  _____

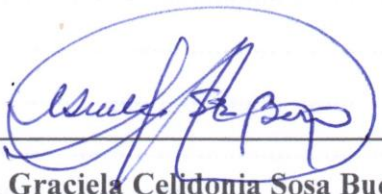
Ing. John Enrique Montenegro Carvajal, Mgr.

DOCENTE ESPECIALISTA

f.  _____

Ing. Juan Carlos Muyulema Allaica, PhD.

DOCENTE TUTOR

f.  _____

Dra. Graciela Celidonia Sosa Bueno, PhD

DOCENTE UIC

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN.....	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iv
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	v
AUTORIZACIÓN.....	vi
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	vii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
AGRADECIMIENTOS	x
DEDICATORIA	xi
DEDICATORIA	xii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	xiii
ÍNDICE GENERAL.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS	xix
LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLAS DE SÍMBOLO	xx
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACTS.....	xxii
INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema.	4
Formulación del problema de investigación.	5
Alcance de la investigación.....	5
Justificación.....	6
Objetivos.	7
CAPÍTULO I.....	8
MARCO TEÓRICO	8
1.1. Antecedentes investigativos.	8
1.2. Estado del arte.	10
1.3. Protocolo de investigación.	34
1.4. Discusión de resultados.....	36
1.5. Marco conceptual.....	38
CAPÍTULO II	39

MARCO METODOLÓGICO	39
2.1. Enfoque de la investigación.	39
2.2. Diseño de la investigación.....	39
2.3. Protocolo de investigación.	40
2.4. Población y muestra.	44
2.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.	46
2.6. Procedimiento para la recolección de datos.	52
2.7. Operacionalización de variables.....	52
2.8. Plan de análisis e interpretación de datos.	53
2.9. Recapitulación del capítulo II.	54
CAPÍTULO III	55
3.1. Marco de resultados.	55
3.2. Propuesta.	86
3.3. Presupuesto.....	101
3.4. Marco de discusión.....	102
3.5. Limitaciones del estudio.....	104
3.6. Futuras líneas de investigación.	104
CONCLUSIONES	105
RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFÍA.....	107
ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Selección de base de datos.....	12
Tabla 2. Planteamiento de criterios de inclusión y exclusión.....	12
Tabla 3. Registro de artículos seleccionados.....	14
Tabla 4. Número de citas por autor.....	19
Tabla 5. Registro de países colaboradores.....	23
Tabla 6. Matriz de métodos, técnicas y herramientas de artículos.....	23
Tabla 7. Enfoques utilizados en artículos.....	26
Tabla 8. Técnicas aplicadas en artículos.....	26
Tabla 9. Matriz de juicios (AHP).....	28
Tabla 10. Matriz de ponderaciones.....	28
Tabla 11. Clasificación y consistencia de técnicas.....	29
Tabla 12. Instrumentos aplicados en artículos.....	30
Tabla 13. Clasificación de pesos de herramientas.....	31
Tabla 14. Objetivos de revisión planteados.....	32
Tabla 15. Preguntas de investigación.....	33
Tabla 16. Terminología y definición.....	38
Tabla 17. Población de estudio.....	44
Tabla 18. Muestra estratificada por criterios de conveniencia (exclusión I).....	45
Tabla 19. Muestra estratificada por criterios de conveniencia (exclusión II).....	46
Tabla 20. Rangos de confiabilidad - Alfa de Cronbach.....	49
Tabla 21. Plan de recolección de datos.....	52
Tabla 22. Plan de análisis e interpretación de resultados.....	53
Tabla 23. Criterios de inclusión y exclusión de expertos.....	55
Tabla 24. Calificaciones de evaluación.....	56
Tabla 25. Valoración de expertos.....	57
Tabla 26. Facultad de encuestados.....	58
Tabla 27. Procesamiento de respuesta de instrumento.....	61
Tabla 28. Cálculo de alfa de Cronbach.....	61
Tabla 29. Estadísticos por elementos suprimido.....	62
Tabla 30. Prueba de normalidad no paramétrica.....	63
Tabla 31. Cálculo de huella de carbono de consumo energético.....	68
Tabla 32. Huella ecológica de consumo eléctrico – UPSE.....	68
Tabla 33. Cálculo de huella de carbono de consumo de agua.....	70
Tabla 34. Cálculo de huella ecológica de consumo de agua – UPSE.....	70
Tabla 35. Cantidad y capacidad de contenedores de residuos.....	71
Tabla 36. Residuos generados al año.....	72
Tabla 37. Proporción de residuos del campus.....	72
Tabla 38. Factor de conversión promedio global (hag/t) – residuos.....	73
Tabla 39. Cálculo de huella ecológica – residuos.....	73
Tabla 40. Cantidad de consumo semanal de alimentos.....	74
Tabla 41. Cálculo de la huella ecológica – alimentos.....	75
Tabla 42. Obtención de datos – transporte.....	77
Tabla 43. Factor de emisión y huella de carbono.....	77
Tabla 44. Cálculo de la huella ecológica – transporte.....	78
Tabla 45. Huella ecológica del campus matriz UPSE – 2024.....	79

Tabla 46. Superficie de la provincia de Santa Elena.	80
Tabla 47. Biocapacidad de la provincia de Santa Elena.	81
Tabla 48. Déficit ecológico (DE) y residuo ecológico (RE).	82
Tabla 49. Biocapacidad del campus UPSE.	83
Tabla 50. Déficit ecológico (DE) y residuo ecológico (RE) – campus.	84
Tabla 51. Escala de nivel de sostenibilidad.	84
Tabla 52. Cálculo del índice de huella ecológica.	85
Tabla 53. Tipos de variables y parámetros del modelo actual.	88
Tabla 54. Resultados de series temporales (2025 - 2030).	91
Tabla 55. Indicadores de sostenibilidad sin intervención.	92
Tabla 56. Elaboración de intervención 1.	93
Tabla 57. Elaboración de intervención 2.	95
Tabla 58. Variables adicionales en modelo ARDL.	97
Tabla 59. Desarrollo de modelo ARDL.	100
Tabla 60. Comparativa de escenarios.	100
Tabla 61. Presupuesto de investigación.	101
Tabla 62. Flujo de caja.	101
Tabla 63. Resultados de indicadores financieros.	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de problemática de investigación.	3
Figura 2. Etapas del método ProKnow – C.	11
Figura 3. Filtrado de artículos de investigación.	13
Figura 4. Diagrama de publicación de artículos seleccionados.	18
Figura 5. Análisis de citas de artículos.	20
Figura 6. Análisis de palabras claves (coocurrencia).	21
Figura 7. Acoplamiento bibliográfico entre revistas.	22
Figura 8. Análisis de interrelación entre países.	22
Figura 9. Técnicas planteadas para AHP.	27
Figura 10. Protocolo de investigación.	35
Figura 11. Protocolo final de investigación.	40
Figura 12. Fases de protocolo de cálculo de huella ecológica.	42
Figura 13. Fases de protocolo de modelado dinámico.	43
Figura 14. Plan de recolección de datos.	47
Figura 15. Protocolo para confiabilidad de resultados.	50
Figura 16. Protocolo de validación de criterio de expertos.	51
Figura 17. Resultados de respuestas por facultades.	58
Figura 18. Diagrama Q-Q - Dimensión 1.	63
Figura 19. Diagrama Q-Q - Dimensión 2.	64
Figura 20. Diagrama Q-Q - Dimensión 3.	64
Figura 21. Diagrama Q-Q - Dimensión 4.	65
Figura 22. Diagrama Q-Q - Dimensión 5.	65
Figura 23. Factores de huella ecológica.	67
Figura 24. Huella ecológica por alimentos.	76
Figura 25. Distribución de huella ecológica en campus UPSE.	79
Figura 26. Biocapacidad provincial y huella ecológica per cápita de campus.	83
Figura 27. Proporción de índice de huella ecológica.	85
Figura 28. Metodología de modelación.	87
Figura 29. Modelo conceptual actual.	89
Figura 30. Modelo dinámico de HE y biocapacidad sin intervención (campus).	90
Figura 31. Comparativa de HE (campus) y BC (provincial).	91
Figura 32. Modelado dinámico ARDL.	98
Figura 33. Comparación de huella ecológica.	99
Figura 34. Resultados de pregunta 10.	127

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cálculo de AHP	117
Anexo 2. Información de población.....	118
Anexo 3. Instrumento de recolección de datos.	118
Anexo 4. Formato de validación de criterio de expertos	119
Anexo 5. Matriz de consistencia	120
Anexo 6. Matriz de operacionalización de variables.	121
Anexo 7. Formato de valoración de expertos	123
Anexo 8. Resultados de encuesta	124
Anexo 9. Tabulación de datos en SPSS	131
Anexo 10. Resultados de entrevista	131

LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLAS DE SÍMBOLO

AHP	Proceso analítico jerárquico (analytic hierarchy process).
ARDL	Modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (autoregressive distributed lag).
DEXPLIS	Diseño exploratorio secuencial (sequential exploratory design).
EN	Encuesta.
ENT	Técnica de entrevista.
hag	Hectáreas globales.
HE	Huella ecológica.
LOPDP	Ley Orgánica de Protección de Datos Personales.
M.AR	Modelo ARDL (en proceso AHP).
M.D	Modelos dinámicos.
ProKnow – C	Knowledge development process–constructivist.
UPSE	Universidad Estatal Península de Santa Elena.
Símbolo	Significado / Unidad.
hag	Hectárea global (unidad de medida ecológica).
α (alfa)	Alfa de Cronbach (coeficiente de fiabilidad).
VAN	Valor actual neto (en USD).
TIR	Tasa interna de retorno (%).
%	Porcentaje.
kWh	Kilovatio-hora (unidad de energía).
m ³	Metro cúbico (unidad de volumen de agua).
CO ₂	Dióxido de carbono.

METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE HUELLA ECOLÓGICA Y SU MODELACIÓN DINÁMICA EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

Autores: Banchón Smith Jean Pierre

Rivera Suárez Aisha Susana

Tutor: Ing. Muyulema Allaica Juan Carlos, MEng.

RESUMEN

El presente estudio parte de la preocupación global del cambio climático y la sostenibilidad de los recursos naturales, reconociendo la necesidad de reducir la presión sobre la biocapacidad ecológica, en especial, en la provincia de Santa Elena. Bajo este marco, las instituciones de educación superior tienen la responsabilidad de promover una gestión ambiental de forma consciente. El objetivo general es proponer una metodología para el cálculo de huella ecológica mediante la modelación dinámica de los resultados obtenidos en la Universidad Estatal Península de Santa Elena. Como metodología, se aplicó un enfoque mixto con diseño secuencial explicativo (DEXPLIS), que combinó el análisis cuantitativo mediante encuestas validadas con alfa de Cronbach (0.881) y cualitativa a través de entrevistas a un profesional del campo de interés. La población estudiada fue de 12,579 estudiantes presenciales, con una muestra de 1,906 encuestados y así adquirir información que permitió descomponer la huella ecológica en cinco componentes: electricidad, agua, alimentos, transporte interno y residuos. Los resultados indican una huella ecológica total de 281.61 hectáreas globales (hag), con un valor per cápita de 0.027 hag/estudiante. Al compararlo con la biocapacidad provincial (1.48 hag), se evidencia una reserva ecológica significativa. No obstante, la simulación en Vensim proyecta un aumento del 54 % para 2030 si no se aplican intervenciones como es la elaboración de un programa de ahorro energético y una campaña de reciclaje, esto permitió reducir la huella hasta en un 41.12 % junto a una inversión viable con una TIR de 22.48 % y recuperación en 3 años y 4 meses. Se concluye que la metodología propuesta es viable, replicable y financieramente rentable, ya que permite proyectar escenarios sostenibles en el entorno universitario.

Palabras clave: huella ecológica, sostenibilidad, modelación dinámica, universidad, Vensim, ARDL.

METHODOLOGY FOR CALCULATING ECOLOGICAL FOOTPRINT AND ITS DYNAMIC MODELING AT THE SANTA ELENA PENINSULA STATE UNIVERSITY

Authors: Banchón Smith Jean Pierre

Rivera Suárez Aisha Susana

Tutor: Ing. Muyulema Allaica Juan Carlos, MEng.

ABSTRACTS

This study stems from global concerns about climate change and the sustainability of natural resources, recognizing the need to reduce pressure on ecological biocapacity, particularly in the province of Santa Elena. Within this framework, higher education institutions have a responsibility to promote conscious environmental management. The overall objective is to propose a methodology for calculating the ecological footprint through dynamic modeling of the results obtained at the Peninsula Santa Elena State University. As a methodology, a mixed approach with a sequential explanatory design (DEXPLIS) was applied, combining quantitative analysis using surveys validated with Cronbach's alpha (0.881) and qualitative analysis through interviews with a professional in the field of interest. The population studied consisted of 12,579 on-campus students, with a sample of 1,906 respondents, thus acquiring information that allowed the ecological footprint to be broken down into five components: electricity, water, food, internal transportation, and waste. The results indicate a total ecological footprint of 281.61 global hectares (gha), with a per capita value of 0.027 gha/student. When compared to the provincial biocapacity (1.48 gha), there is evidence of a significant ecological reserve. However, the Vensim simulation projects a 54 % increase by 2030 if interventions such as the development of an energy saving program and a recycling campaign are not implemented. This allowed the footprint to be reduced by up to 41.12 % along with a viable investment with an IRR of 22.48 % and recovery in 3 years and 4 months. It is concluded that the proposed methodology is viable, replicable, and financially profitable, as it allows for the projection of sustainable scenarios in the university environment.

Keywords: *ecological footprint, sustainability, dynamic modeling, university, Vensim, ARDL.*

INTRODUCCIÓN

A nivel global, existe un incremento en la preocupación por el cambio climático y la sostenibilidad de los recursos naturales, debido a esto se han impulsado las investigaciones en torno a la huella ecológica que permite la evaluación de la diferencia entre el grado de consumo humanos de los recursos renovables y de la disponibilidad de estos mismos (Espinosa & Koh, 2024). Además, de la cuantificación del uso de recursos naturales y la capacidad de los ecosistemas para su regeneración, proporcionando un diagnóstico claro de cuántos recursos utiliza una población o institución y cuánto afecta a el entorno que lo rodea (Valderrama et al., 2024).

En el ámbito latinoamericano, es caracterizado por su menor industrialización y de una gran ventaja en su biodiversidad, esto es evaluado con el uso de la huella ecológica como indicador al deterioro ambiental que examina una distribución heterogénea a los efectos de una economía compleja y de la renta de los recursos naturales en la región (Alvarado et al., 2021). A pesar de que esta región posee una gran diversidad de ecosistemas, flora y faunas, estos mismos recursos naturales están siendo explotados a un ritmo alarmante lo que registran una pérdida anual significativa de recursos forestales debido a la expansión de actividades humanas, como la agricultura y la urbanización, las cuales elevan la huella ecológica regional (PNUMA, 2024). Para una correcta medición de la huella ecológica, una corriente estadística, busca plantear una gestión ambiental y que se desarrolle acorde a la cultura de las comunidades, con el fin de la promoción de hábitos saludables para el entorno y de soluciones del tipo socio – ambientales (Calle & Orozco, 2022).

En Ecuador, la huella ecológica también es un tema de paulatina importancia, especialmente en el ámbito académico, con los análisis realizados en relación con la demanda de los recursos naturales en todo el país y de su biocapacidad para la comparación respectiva (Coloma et al., 2022). Los últimos resultados indican que en el año 2012 se obtuvo una huella ecológica per cápita fue menor en 1.7 en relación con el promedio mundial que se mantenía en 2.84 hectáreas globales. Por otro lado, las zonas con una mayor afectación son las áreas costeras por la actividad pesquera debido a las actividades de exportación de productos marinos como el camarón y variedad de peces ya sea congelados o procesados, no obstante, existe una falta de investigación en estos lugares, donde se evidencia una necesidad de ejecución de estudio sobre la degradación ambiental (Mantilla et al., 2024).

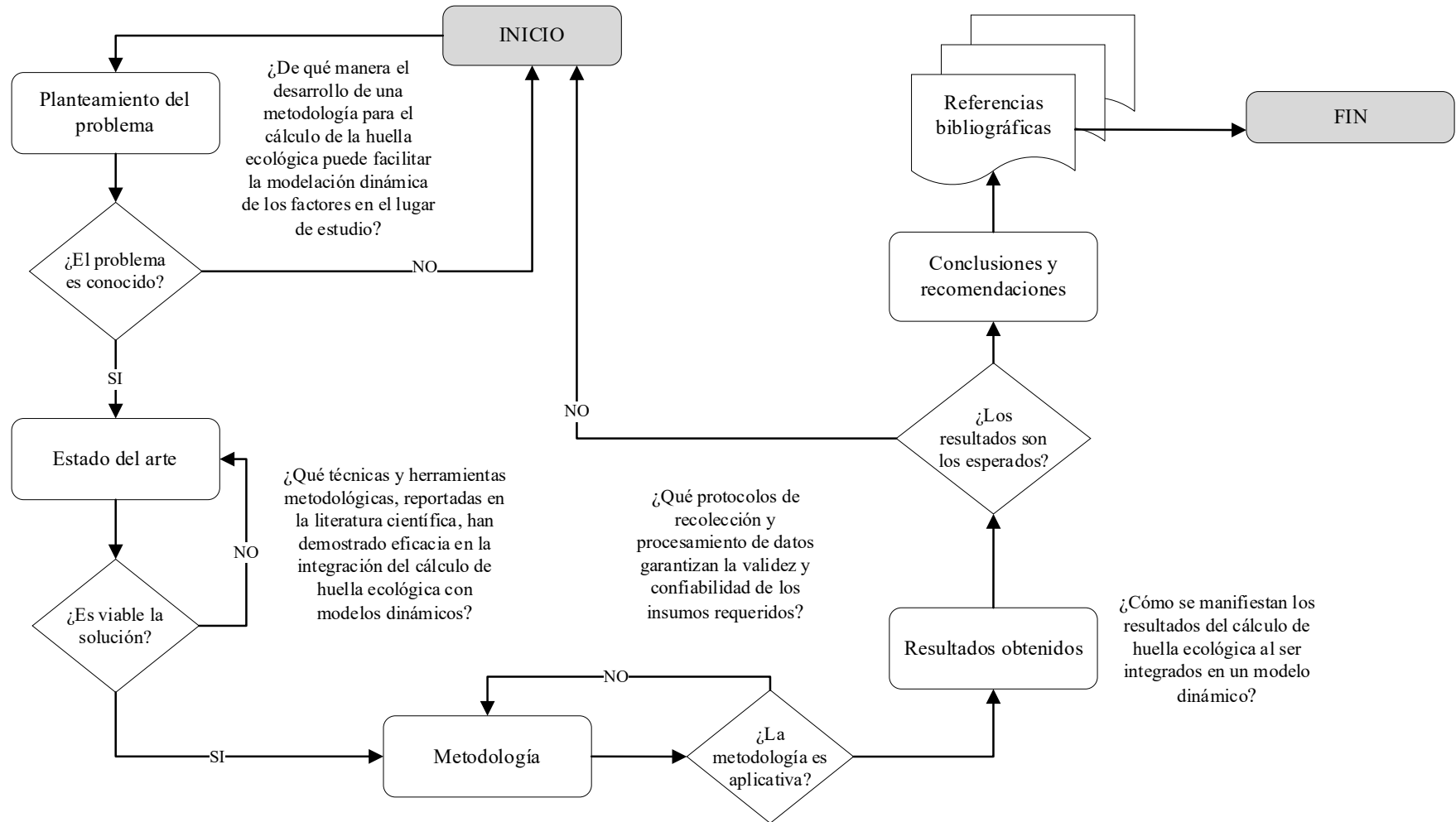
En las universidades del Ecuador, se registran que un total 670,373 estudiantes son distribuidos en 62 instituciones y escuela politécnicas, de las cuales 32 son manejadas por el estado y 30 son privadas, estas poseen un compromiso con la sociedad y al medio ambiente mediante sus actividades (Senescyt, 2025). Esto es demostrado como la necesidad de implementar modelos sostenibles de gestión ambiental por parte de las instituciones ecuatorianas para que se optimice el uso de los recursos y fomenten una mayor conciencia ambiental entre la comunidad universitaria, la transferencia de conocimiento que este guiada por normativas y de una serie de principios éticos y así fomentar una convivencia social y de la sostenibilidad económica y ambiental (Salcedo et al., 2024).

La Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) se encuentra en una ubicación de importancia ecológica y cultural, lo cual la posiciona como una institución relevante para el desarrollo de prácticas sostenibles (Senescyt, 2025). Teniendo esto presente, la medición de la huella ecológica de la institución puede brindar información de forma indispensable como el nivel de consumo de los recursos y el impacto ambiental generado por sus actividades diarias, tales como, el uso de energía para todas las instalaciones, la generación de residuos por parte del personal universitario, estudiantes e investigadores, además del consumo de agua (Zambrano & Herrera, 2024).

Entonces, como solución al objetivo de la elaboración de una metodología para el cálculo de la huella ecológica y de su modelación dinámica a partir de considerar los factores del consumo de agua como es el agua y energía junto a la generación de desechos dentro de las instalaciones. Esta propuesta evidencia que, para el lugar de estudio (UPSE) puede tener un beneficio por la aplicación de un diagnóstico a su huella ecológica, para que así, se pueda promover la sostenibilidad en su matriz y contribuir a la reducción de los efectos ambientales negativos en la provincia de Santa Elena.

Como se representa en la figura 1, se elabora un diagrama de flujo que plantea la secuencia sobre la identificación del problema en el trabajo de investigación, esta contiene interrogantes a las distintas secciones del estudio como es el planteamiento, el estado del arte, el marco metodológico, de la interpretación de los resultados obtenidos y como último de la elaboración de conclusiones en base a los objetivos planteados dirigido al tema de estudio.

Figura 1.
Flujograma de problemática de investigación.



Nota. Elaborado por los autores.

Planteamiento del problema.

A nivel mundial, el efecto del cambio climático conlleva a críticas sobre la limitación de los recursos naturales, esto el incremento de la deforestación, en la reducción de la biodiversidad, además de la insuficiencia de los cuerpos hídricos para el consumo y de condiciones meteorológicas cada vez más extremas como son los incendios forestales y de la baja capacidad de regeneración de los recursos naturales renovable (Tahir et al., 2024). Esto significa que de forma global hemos gastado los recursos más rápido de lo que el planeta puede regenerarse y que este déficit ecológico se puede expresar como una crisis ambiental global, caracterizada por la urbanización, industrialización y aumento de la población lo cual ocasiona pérdida en la biodiversidad, el cambio climático y la degradación de los ecosistemas por contaminación (Nathaniel et al., 2024).

En América Latina, la situación es igual de alarmante, debido a que enfrenta desafíos relacionados con el cambio climático debido al uso de la tierra y a la creciente concentración de los gases de efecto invernadero, además que su análisis dinámico para la respectiva formulación de propuestas con una mayor eficiencia (Belloc & Molina, 2023). Esta misma región es responsable del 47% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, nivel que supera a la media mundial que representa el 19 %, además de que representan el 7.3 % del producto interno bruto global (Añazco et al., 2021). Entonces, se explica que los países latinoamericanos no han logrado establecer un equilibrio entre desarrollo económico y conservación ambiental, por su inclinación de preferencia hacia la extracción de minerales y de la generación de ingresos por los recursos naturales lo que conlleva a preocupaciones ecológicas (Amin et al., 2025).

En Ecuador, la situación actual del país presenta un panorama mixto, en donde se demuestran estadísticas con una huella ecológica de 1.7 hectáreas globales por persona (hag), con variación entre provincias en base a sus factores socioeconómicos y demográficos, frente a una biocapacidad por persona de 1.9 hag en comparación con otros países (Muñoz & Sánchez, 2024). Sin embargo, esto no significa que esté exento de problemas ambientales, es decir, que se debe promover el consumo responsable en la gestión de los recursos para las comunidades locales (Aguirre et al., 2024).

La importancia de realizar esta investigación se basa en el vacío existente del conocimiento sobre cómo la UPSE puede contribuir a reducir su impacto ambiental. Aunque se han realizado estudios sobre huellas ecológicas a nivel nacional e internacional, hay poca

información específica sobre cómo estas métricas se aplican dentro del entorno universitario. Esta investigación no solo llena ese vacío, sino que también proporciona una visión a largo plazo del comportamiento de los datos calculados sobre la huella ecológica en la UPSE, esto implementando una modelación dinámica de sistemas. Al hacerlo, se espera que esta investigación contribuya al desarrollo sostenible de la universidad y fomente una mayor conciencia sobre la importancia de cuidar nuestro entorno natural.

Formulación del problema de investigación.

¿De qué manera el desarrollo de una metodología para el cálculo de la huella ecológica puede facilitar la modelación dinámica de los factores en el lugar de estudio?

¿Qué técnicas y herramientas metodológicas, reportadas en la literatura científica, han demostrado eficacia en la integración del cálculo de huella ecológica con modelos dinámicos?

¿Qué protocolos de recolección y procesamiento de datos garantizan la validez y confiabilidad de los insumos requeridos?

¿Cómo se manifiestan los resultados del cálculo de huella ecológica al ser integrados en un modelo dinámico?

Alcance de la investigación.

La presente investigación se centra en el cálculo y análisis de la huella ecológica en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, con el objetivo de evaluar el impacto ambiental de las actividades académicas y administrativas de la institución. Además de aplicar modelación dinámica de sistemas la cual permite el análisis el comportamiento de los datos a través del tiempo.

El estudio se lleva a cabo en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, ubicada en la provincia de Santa Elena, Ecuador. Además, la investigación considera un período específico, que abarca el año académico 2025, para que así se permita una evaluación actual y relevante de las prácticas ambientales de la institución. Por lo tanto, se utiliza un enfoque sistemático y dinámico para el análisis del comportamiento de los sistemas en el transcurso del periodo establecido, para la visualización de los cambios en la huella ecológica a medida que se modela el comportamiento del sistema.

La investigación está centrada en dos variables principales: la variable independiente la cual es el cálculo de huella ecológica en donde se utilizan una serie de metodologías

estandarizadas y la variable dependiente, que es la modelación dinámica de sistema lo que conlleva a la obtención de resultados confiables y del análisis de su comportamiento.

Este trabajo no solo contribuye al conocimiento académico sobre sostenibilidad en instituciones académicas en el Ecuador, sino que también ofrece un enfoque práctico para que otras universidades que busquen la medición, reducción y análisis del comportamiento de la huella ecológica de cada institución, por esto mismo, este estudio busque que otros centros de investigación adopten y promuevan de forma similar una cultura de responsabilidad ambiental por parte de los estudiantes y personal universitario.

Justificación.

La importancia de la elaboración de una metodología para el cálculo de la huella ecológica y de su modelación dinámica se aborda de manera integral la sostenibilidad en el ámbito universitario, que considera la importancia creciente del impacto ambiental generado por las actividades humanas (Zambrano & Herrera, 2024). A través de la huella ecológica, como métrica reconocida a nivel global, permite evaluar el uso de los recursos y la aptitud de los ecosistemas para regenerarse (Verónica et al., 2024). Bajo este contexto, se entiende que en el ámbito educativo se debe priorizar un impulso de las prácticas socioambientales para la participación de la comunidad de los campus.

Dentro de la transcendencia, el desarrollo de esta metodología, a pesar de la búsqueda de un impacto local, se busca que la institución de estudio sea un referente a la gestión ambiental como son otras universidades ecuatorianas con un mayor aporte de estudios en la gestión ambiental (Añazco et al., 2021). Esto mediante la aplicación de un enfoque innovador como es la combinación de la huella ecológica junto a la modelación dinámica de sistemas de anticipación de tendencias futuras y de la propuesta de políticas de sostenibilidad (Paola et al., 2022). Entonces, este estudio busca beneficios para la universidad, también que sea replicable en otras organizaciones similares para la contribución de prácticas sostenibles.

Como originalidad, se propone una metodología innovadora con la incorporación de la modelación dinámica de sistemas, lo que permite simular y prever el comportamiento de los indicadores ambientales a lo largo del tiempo (Kerdsap et al., 2023). Esto conlleva que se superen las limitaciones que tienen estudios tradicionales mediante la aplicación de herramientas que permitan una simulación avanzada, como son las proyecciones de escenarios y de los análisis temporales (Leo et al., 2020). Es decir, que su aplicación en la UPSE puede llenar el vacío existente en estudios locales sobre huella ecológica en instituciones educativas,

además que el uso de tecnologías de modelación es reconocido por su eficacia en la representación y del análisis de sistemas complejos.

Para la viabilidad del proyecto está garantizada por el acceso a datos de consumo de energía, agua y generación de residuos en la UPSE, junto con la aplicación de herramientas de modelación ya probadas en otros contextos. Estos elementos aseguran un proceso eficiente y de resultados que sean confiables que respaldan la aplicación de técnicas y herramientas determinadas (Vaisi et al., 2021). Por lo tanto, con la validación de la metodología, se reducen los riesgos que estén involucrados a la aplicación de la propuesta que su elaboración de forma efectiva y que se realicen en el plazo indicado.

El principal beneficiario que está dirigido esta investigación es a la comunidad universitaria señalada, que se complementa de estudiantes, docentes y personal operativo y administrativo (Zambrano & Herrera, 2024). Esto es debido a que tiene un impacto dirigido al fomento de una cultura de sostenibilidad y aplicación de prácticas ambientales que sean responsables y se incentiva en base a las prácticas responsables entre estudiantes y docentes (Quintana et al., 2015). Además, los resultados llegan abordar como un modelo para otras instituciones que deseen replicar este enfoque, además se contribuye al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), en especial el ODS 13 : acción por el clima (ONU, 2024).

Objetivos.

Objetivo general.

Proponer una metodología para el cálculo de huella ecológica mediante la modelación dinámica de los resultados obtenidos en la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Objetivos específicos.

OE1. Plantear un estado de arte mediante un análisis sistemático que respalde el cálculo de la huella ecológica para el análisis del impacto en el entorno universitario establecido.

OE2. Establecer un marco metodológico por medio de procedimientos el cálculo de la huella ecológica en las universidades y el comportamiento de los factores aplicando modelación dinámica de sistemas.

OE3. Calcular la huella ecológica de la UPSE por medio de la modelación dinámica para la visualización del comportamiento de los factores en periodos de tiempo.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos.

En base a Vaisi et al., (2021) explican que los campus universitarios, debido a la diversidad de sus actividades y departamentos, generan un impacto ambiental significativo, por esto mismo, es necesario abordar este problema. Se propone un enfoque basado en componentes para calcular la huella ecológica en el lugar de estudio, esto con la evaluación específicamente al consumo de los recursos como gas natural, electricidad, agua, alimentos y la generación de residuos durante un periodo de cuatro años (2013-2016). Esto mediante una metodología que implicó la recopilación y análisis de datos detallados en estos cinco componentes, a nivel de edificio y campus, permitiendo una evaluación granular y la identificación de áreas críticas de impacto ambiental. Como resultados, se indicó que el consumo de energía de combustibles fósiles representó el 70,73 % del impacto ambiental total, esto es seguido por la generación de residuos con un 26,87 %, el uso de alimentos con un 1,28 % y el uso de agua con un 1,12 %, esto consigue que el índice de huella ecológica del campus se haya calculado como -0,82, esto es comparativo a que el rendimiento es insostenible. Su sinergia con el tema de estudio abarcó la importancia de disminuir el impacto ambiental en los campus universitarios y que el enfoque se ubique en las zonas más críticas.

Por otro lado, Williams et al., (2022) en su estudio evidencia que por el aumento la huella ecológica y la explotación desmedida de los recursos naturales, han representado un reto que se vuelve importante para la sostenibilidad en Sudáfrica. Es decir, que este escenario está exacerbado por el desequilibrio ecológico causado por la presión humana sobre los ecosistemas y la creciente demanda de bienes y servicios. Esto propone evaluar las relaciones entre la huella ecológica, la biocapacidad y las tasas de cambio, con el objetivo de entender su impacto en la IED y que se emplean modelos econométricos como el ARDL lineal y no lineal. Como resultado existe un cambio positivo, pero este afecta de forma favorable a la inversión extranjera, mientras que los choques negativos en las tasas de cambio disminuyen las entradas de capital. Por lo tanto, se resalta sobre la propuesta de regulaciones ambientales que promuevan un equilibrio entre el desarrollo económico y la sostenibilidad, mediante políticas que incentiven el uso de tecnologías avanzadas.

Así mismo, está el estudio de Santoso et al., (2022) obtenido del artículo llamado “Escenario de huella ecológica basado en un modelo dinámico”, como estudio de caso está la

región metropolitana de Surabaya, conocida como Gerbangkertosusila, enfrenta un crecimiento económico acelerado acompañado de una alta suburbanización y aumento poblacional. Esta expansión ha incrementado la demanda de recursos naturales y, a su vez, ha generado un déficit ecológico. Se propone a la evaluación de la sostenibilidad ambiental mediante el análisis de la huella ecológica y la biocapacidad. Además, su metodología proyectó escenarios a 15 años bajo condiciones pesimistas, moderadas y optimistas. Esto identificó áreas con déficits ecológicos significativos, como las ciudades de Surabaya y Mojokerto y de regencias como Lamongan presentaron un superávit de 321 % en biocapacidad gracias a su productividad agrícola y pesquera. Esto indica una necesidad en la regulaciones ambientales y planes de uso de suelo que equilibren la economía con la sostenibilidad a largo plazo.

En base a Tornero, (2021) se refleja en su artículo científico “La huella ecológica en las Universidades” han demostrado que, a pesar de la falta de datos fiables e ignorar ciertos impactos ambientales, la huella ecológica es una herramienta de evaluación de sostenibilidad prometedora en diversas escalas. Desde su concepción en la evaluación de sostenibilidad a nivel mundial, la aplicación de cálculo se ha extendido y adaptado a múltiples categorías, incluyendo a las instituciones de educación superior. Además de un instrumento para evaluar, actualmente se utiliza en dicha categoría no solo como herramienta de enseñanza, sino como instrumento de formulación de políticas ambientales. Al mismo tiempo, la falta de una metodología consensuada para el cálculo de la huella ecológica en universidades y el requerimiento de un compromiso de cuerpo completo para su aplicación se identifican como desafíos críticos.

Según la investigación de Huamaní et al., (2024) se plantea en la Universidad Nacional de Altiplano – Perú una falta de indicadores integrados que permitan evaluar el impacto ambiental de manera holística. Por esto mismo se propone el cálculo la huella ecológica para determinar el grado de contribución al deterioro ambiental que esta institución ha dejado en el medio ambiente, utilizando la metodología aplicada. La cual consiste en un método propuesto para el cálculo de la huella ecológica en las universidades, teniendo en cuenta factores como: energía eléctrica, agua potable, papel, edificios, movilidad y área ocupada. Dando como resultado una huella ecológica de 915.67 hectáreas/año o 1172.06 hectáreas globales/año. Siendo la huella ecológica por persona de 0,04 hectáreas/personas/año. Esto conlleva un impacto en la publicación de artículos, debido a la creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental el cual actúa como un indicador para el consumo de los recursos en comparación con la biocapacidad de regeneración del planeta y los ecosistemas.

Utilizando como base estos antecedentes, se demuestra que las instituciones universitarias generan impactos ambientales significativos debido a sus diversas actividades académicas y administrativas. Investigaciones como las de Vaisi et al., (2021) revelan que el consumo energético representa la mayor proporción (70.73 %) de la huella ecológica en campus universitarios. Además, por parte de Williams et al., (2022), se observa una preocupante reducción de la biocapacidad, lo que subraya la urgencia de implementar modelos dinámicos que permitan proyectar escenarios. De forma particular, en instituciones educativas, la falta de metodologías estandarizadas (Torneró, 2021) y de indicadores integrales (Huamaní et al., 2024) limita la capacidad para medir y mitigar adecuadamente estos impactos. Por lo tanto, se procede a la elaboración del estado del arte con la finalidad de comprender las metodologías y las herramientas más óptimas según nuestra revisión literaria y del análisis que permita filtrar casos de estudio e investigaciones relevantes.

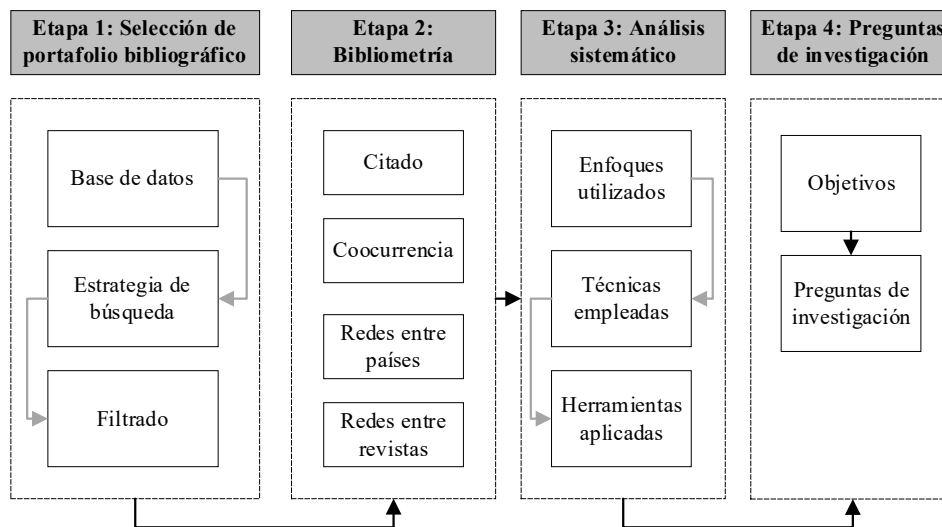
1.2. Estado del arte.

Se entiende como estado del arte, al proceso de toda investigación científica que es necesario del seguimiento de una serie de pasos, que permita la selección de una solución que afiance a la formulación del problema o del tema de estudio, por lo tanto, se inicia con la búsqueda de información y conocimiento que puedan ser comparadas con la situación actual (Romero, 2022). Dado este contexto, se acopla una revisión sistemática como metodología que permite la selección y evaluación de manera crítica estudios que son publicados por un determinado número de autores que se diferenciar por sus elementos contenidos con relación a un tema en específico (Khan et al., 2022).

Este tipo de revisión se relaciona con el estudio bibliométrico que se enfoca en el análisis de manera cuantitativa o de tener la capacidad de procesar grandes cantidades de literatura obtenidos de bases de datos específicas con la ayuda de programas especializados con distintas capacidades de visualización de las métricas de los registros (Öztürk et al., 2024). Por lo mismo, en su elaboración se integra técnicas como el análisis de citas, de co – palabras, interrelación entre países, revistas y organizaciones que estén dentro del campo de interés y así mapear de forma correcta la estructura científica. Como último, los registros son evaluados mediante el proceso de análisis jerárquico o en sus siglas en inglés (AHP) que es descrito como una técnica efectiva que tiene como prioridad la clasificación de las alternativas establecidas que son basados de la calidad que disponen, además tiene como finalidad que se reduzca el sistema que es dado por elementos partes que son comparados cada uno a partir de una serie de matrices (Estrada et al., 2024).

Para la construcción del procedimiento del estado de arte, se aplica una metodología de desarrollo del conocimiento – constructivista llamado como ProKnow-C relacionado a los autores Tuest et al., (2022) y Avella et al., (2024), que es fundamentada por la consolidación de literatura o de un portafolio bibliográfico y del análisis bibliométrico y sistemático para la formulación de las preguntas de investigación vinculadas a los objetivos planteados como se observa en la figura 2.

Figura 2.
Etapas del método ProKnow – C.



Nota. Elaborado por los autores.

Como se señala, el método ProKnow – C inicia con la selección del portafolio bibliográfico que se vincula con la selección de las bases de datos donde inicia la búsqueda mediante el uso de estrategias de búsqueda para una adquisición de literatura existentes que es filtrado para conseguir los registros con mayor relevancia el estudio de investigación. Estos documentos son aplicados a un análisis bibliométrico para comprender el nivel de interés por partes de los autores hacia el campo de estudio, con esto se registran los datos necesarios dentro de la etapa del análisis sistemático como es el enfoque utilizado, las técnicas y herramientas que se han aplicado en cada uno del conocimiento seleccionado.

1.2.1. Etapa 1.- Selección del portafolio bibliográfico.

- Base de datos.

Con las etapas planteadas, se inicia con la selección de las bases de datos que se utilizan para la obtención de registros con relevancia en el tema de estudio, por lo tanto, se establecen las palabras claves de búsqueda por medio del lenguaje booleano donde (AND) indica la inclusión de los términos separados, (OR) para la búsqueda de cualquiera de las palabras claves y el operador (NOT) abarca la exclusión de palabras como se observa en la tabla 1.

Tabla 1.
Selección de base de datos.

Nº	Base de Datos	Palabras claves	Documentos
1	Scopus.	TITLE-ABS-KEY (ecological AND footprint AND system AND dynamics) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2026.	115
2	Web of Science.	Ecological AND footprint OR sustainability AND dynamic AND modelling NOT carbon.	30
3	Dimensions.	ecological footprint AND dynamic modelling.	53

Nota. Elaborado por los autores.

Las bases de datos seleccionadas es Scopus por su función de una alta variedad de métricas para su uso en análisis bibliométricos y se obtuvo un total de 115 documentos, además, se incluye a Web of Science (WoS) por su contenido de registros de calidad lo que provoca una reducida cantidad de 30 documentos con relación al tema de estudio. Como último, se adjunta a Dimensions con una amplia proporción de datos de investigación a distintas disciplinas, esto permite que la búsqueda obtenga 53 resultados del campo de interés, esta búsqueda preliminar tiene 198 resultados que deben pasar por una serie de estrategias para aumentar la calidad de los registros como se observa en la tabla 2.

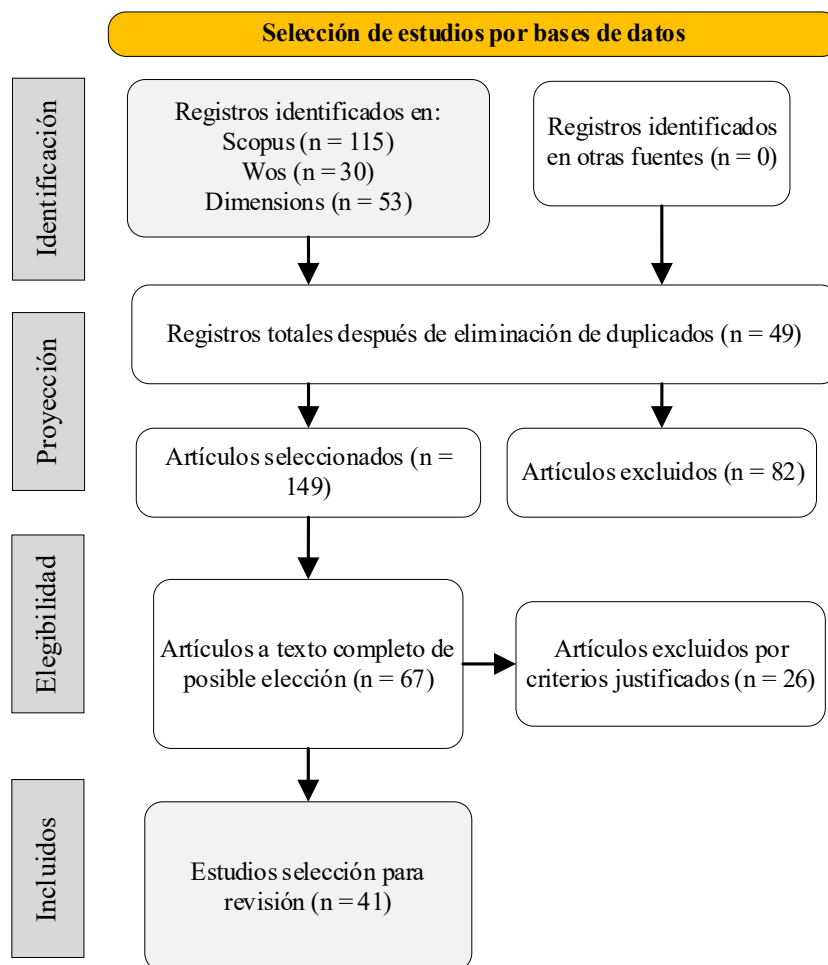
Tabla 2.
Planteamiento de criterios de inclusión y exclusión.

Criterios	Ítems
Inclusión	<ul style="list-style-type: none"> • Artículos de revistas científicas. • Registros en los años (desde 1 de febrero 2020 al 31 de enero 2025). • Publicaciones en los idiomas inglés, español y mandarín. • Tema de documentos con relación a las variables de estudio.
Exclusión	<ul style="list-style-type: none"> • Descarte de actas de conferencia, sección de libro, tesis de grado y posgrado. • Publicaciones inferiores al 2020. • Exclusión de revisiones sistemáticas. • Estudios fuera del área temática de medio ambiente y modelación.

Nota. Elaborado por los autores.

Entre los criterios de inclusión es que solo se acepten artículos de revistas científicas por una alta veracidad de la información, mientras se excluyen otro de tipo de documento como actas, secciones de libro, trabajos de titulación y de revisiones sistemáticas debido a que no implica la aplicación de soluciones de forma directa, además que sean publicaciones dentro de los últimos cinco años, esto permite evitar información obsoleta, los idiomas de publicación son artículos en español, inglés y mandarín por su alta concentración de datos con relevancia al tema de estudio que es la huella ecológica y el modelado dinámico.

Figura 3.
Filtrado de artículos de investigación.



Nota. Elaborado por los autores en base a directrices PRISMA.

En la figura 3 se presenta un flujograma sobre la selección de estudios para el estado del arte. El proceso inicia con la identificación de registros en bases de datos: Scopus (115), WoS (30) y Dimensions (53), sin registros externos. En la segunda etapa, se eliminan 49 documentos duplicados, lo que reduce la muestra a 149 artículos. Posteriormente, se excluyen 82 registros que no cumplen con los criterios de inclusión. En la fase de elegibilidad, se identifican 67 artículos que superan los filtros aplicados; sin embargo, tras una revisión más detallada del contenido, se descartan 26 por falta de relevancia temática. Finalmente, se obtiene un conjunto depurado de estudios significativos para el análisis.

Con los 41 artículos seleccionados, se registran datos como la propuesta del autor, los hallazgos o resultados obtenidos y junto a la sinergia de los documentos con relación al tema de investigación, esto para una mejor comprensión de los datos que presenta cada uno, como se observa en la tabla 4.

Tabla 3.*Registro de artículos seleccionados.*

N°	Autor	Propuesta	Hallazgos	Sinergia
A1	(Acevedo et al., 2023)	Analizar la relación entre el desarrollo económico y la degradación ambiental.	Transición hacia fuentes de energía renovable y el uso de tecnologías más limpias en los sectores agrícola.	Utilización de la huella ecológica como indicador.
A2	(Adjei et al., 2021)	Uso de recursos de los estudiantes afectan la sostenibilidad ecológica.	Huella ecológica promedio alta de 3.62 hectáreas, lo que representa un puntaje de impacto ecológico de 135.85.	Medir la huella ecológica de los estudiantes.
A3	(Altıntaş et al., 2023)	Analizar cómo la desigualdad de ingresos afecta la degradación ambiental.	Relación causal entre el coeficiente de GINI y la huella ecológica en diferentes periodos.	Utilización de la huella ecológica como un indicador.
A4	(Aminizadeh et al., 2024)	Analizar la dependencia espacial de la huella de los terrenos de pesca.	La huella de los terrenos de pesca se ve negativamente influenciada por la biocapacidad y urbanización de países vecinos.	Modelos dinámicos que evalúen el impacto de las políticas económicas y ambientales.
A5	(Amowine et al., 2021)	Analizar la eficiencia ecológica entre 44 economías africanas.	La eficiencia DSTFEE para los 44 países africanos es muy baja (0.403), indicando un gran potencial de mejora.	Evaluación de ecología dinámica.
A6	(Behera et al., 2024)	Analizar cómo el uso de energía hidroeléctrica y nuclear, la innovación en tecnología verde.	La innovación en tecnología verde reduce significativamente la huella ecológica en países BRICS.	Mitigación de la huella ecológica.
A7	(Bin et al., 2023)	Analizar la huella ecológica de los recursos hídricos en la región de Beijing.	La huella ecológica en la región BTH fue de 0.3809 hm ² /persona, inferior al promedio nacional de 0.6927 hm ² /persona en 2021.	Modelación dinámica a través de redes neuronales LSTM.
A8	(Chi, 2024)	La apertura comercial y las tecnologías ambientales en la huella ecológica.	La relación entre el PIB y la huella ecológica sigue una curva en forma de U invertida, confirmando la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental.	Impulsores de la huella ecológica.
A9	(Dobos & Tóth, 2024)	Método innovador para calcular la huella ecológica utilizando el modelo dinámico de Leontief.	La huella ecológica no es estática y que su cálculo debe considerar la interdependencia entre diferentes periodos económicos.	Evaluación de la huella ecológica.

N°	Autor	Propuesta	Hallazgos	Sinergia
A10	(Fernández et al., 2020)	Explorar los hábitos de consumo del estudiante analizando su huella ecológica individual (EF).	Los estudiantes de universidades privadas tienen una EF más alta que los de universidades públicas.	Calcular la huella ecológica por categoría.
A11	(Guan et al., 2022)	Calcular la compensación ecológica en la cuenca del río Yangtze.	Shanghai tuvo la compensación más alta (396.80 CNY/persona), mientras que Tíbet tuvo la más baja (33.72 CNY/persona).	Modelo dinámico que integra la capacidad de carga ecológica.
A12	(Guo et al., 2020)	Cuantificar los cambios dinámicos en la huella ecológica (EF).	La huella ecológica per cápita de Qinghai aumentó de 2.3027 hm ² en 2007 a 2.9837 hm ² en 2017, existe un incremento del 29.58%.	Modelo dinámico mediante la capacidad de carga ecológica.
A13	(Hu et al., 2024)	Investigar cambios dinámicos en la huella ecológica de las tierras cultivables.	El índice de presión sostenible de las tierras cultivables aumentó, indicando una baja seguridad ecológica en la zona.	Modelado de ecuaciones estructurales.
A14	(Huamaní et al., 2024)	Cuantificar la huella ecológica total de la Universidad Nacional del Altiplano	Se generó 4721.20 toneladas de CO ₂ debido al uso de infraestructura, movilidad, consumo de electricidad, papel y agua.	Calcular la huella ecológica.
A15	(Jiang et al., 2022)	Sistema de sostenibilidad de la huella hídrica (WFS).	El grado de escasez de agua azul fue mayor que 1; sin embargo, el índice de escasez de agua verde y el grado de contaminación del agua fueron menores que 1.	Base sólida para la modelación dinámica de la huella ecológica.
A16	(Kerdsap et al., 2023)	Desarrollar enfoques para reducirla mediante un proceso de educación ambiental.	Las actividades resultaron en cambios en la utilización de recursos y el medio ambiente en la granja universitaria.	La integración de la educación ambiental.
A17	(Khan et al., 2023)	Investigar las relaciones dinámicas entre el consumo de energía, la urbanización y la huella ecológica.	La urbanización en India es beneficiosa para el medio ambiente, mientras que el consumo de energía tiene un impacto negativo.	Análisis de los factores dinámicos en la huella ecológica.
A18	(Kutlar et al., 2022)	Evaluación de la degradación ecológica en los países MINT.	El consumo de energía, cuyo coeficiente es estadísticamente coherente, incrementa la flexibilidad de la huella ecológica.	Modelación dinámica al considerar las interacciones endógenas.
A19	(C. Liu & Yang, 2020)	Investigar los cambios dinámicos en la sostenibilidad ecológica de Xiamen.	La sostenibilidad ecológica de Xiamen ha ido disminuyendo debido al aumento de la presión sobre la salud del ecosistema.	Diluir las emisiones de contaminantes.

N°	Autor	Propuesta	Hallazgos	Sinergia
A20	(J. Liu et al., 2024)	Métodos mejorados para calcular la huella ecológica.	La huella ecológica del campus es de 28,358.41 hectáreas globales (gha).	Huella ecológica en entornos universitarios.
A21	(Lu & Chen, 2023)	Pronósticos de la capacidad de carga ecológica turística en los parques forestales de China.	Las proyecciones sugieren un incremento del déficit ecológico en el turismo de los parques forestales.	Evaluar la capacidad de carga ecológica.
A22	(Ma et al., 2022)	Predicción multiescenario de la huella ecológica.	La optimización de la estructura industrial reduce el nivel de la huella ecológica.	Modelo mejorado de huella ecológica.
A23	(Maués et al., 2022)	Evaluar los impactos educativos y ambientales en los estudiantes.	Se observó una reducción en la huella ecológica del 2.33%, destacando la disminución en el sector de movilidad.	Medir los cambios en la huella ecológica.
A24	(Menendez et al., 2023)	Uso de un modelo dinámico-mecanicista.	Composición de nutrientes resultó en una variación significativa en la huella hídrica (2,669 L/kg de carne deshuesada, $P < 0.05$).	Marco de modelado dinámico.
A25	(Omoke et al., 2020)	Proporcionar evidencia nueva y específica utilizando un análisis dinámico asimétrico.	Aumento del desarrollo financiero en un 1% lleva aumento de la huella de carbono en un 0.5% y de la huella no de carbono en un 0.3%.	Mitigación de los impactos ambientales negativos
A26	(Santoso et al., 2022)	Analizar diversos escenarios utilizando el modelo de sistemas dinámicos.	Diferentes escenarios de uso del suelo afectan la capacidad de carga ecológica.	Enfoque dinámico para proyectar futuros escenarios.
A27	(Shi et al., 2020)	Proponer estrategias para mejorar la sostenibilidad ecológica.	Adopción de medidas específicas, incluyendo la protección del medio ambiente, control de la desertificación.	Calcular la capacidad de carga ecológica y evalúa las dinámicas regionales.
A28	(Sun et al., 2020)	Explorar los efectos que los impuestos energéticos pueden tener sobre las transferencias de huella ecológica.	implementación de impuestos energéticos puede reducir significativamente la huella ecológica transferida.	Políticas pueden afectar la huella ecológica.
A29	(Tian et al., 2020)	Huella ecológica tridimensional de la zona costera de Zhejiang.	El déficit ecológico per cápita promedio fue de 3.5 hm ² por persona, aumentando un 15.5%.	Factores socioeconómicos y ambientales influyen en la huella ecológica.
A30	(Ullah & Lin, 2024)	Diversificación de exportaciones impactan en la huella ecológica de Pakistán.	La urbanización incrementa la huella, mientras que la diversificación de exportaciones la disminuye.	Factores económicos y de desarrollo afectan la huella ecológica.
A31	(Vaisi et al., 2021)	Evaluar la huella ecológica en un campus universitario.	La huella ecológica promedio del campus fue de 16,484 hectáreas globales (gha).	Huella ecológica en campus universitarios.

N°	Autor	Propuesta	Hallazgos	Sinergia
A32	(Wagner & Gibberd, 2022)	Reducción de la huella ecológica de estudiantes universitarios.	Estudio de caso basado en ejercicios estudiantiles sobre la responsabilidad del cambio climático.	Reducir el impacto ambiental.
A33	(Wang et al., 2022)	Evaluar la relación entre el crecimiento económico y la huella ecológica.	El consumo de energía limpia en las economías del G-7 aumentó del 40% al 94% entre 1990 y 2020.	Cuantificar el impacto ambiental.
A34	(Williams et al., 2022)	Investigar el impacto de la huella ecológica (EFP).	Un aumento del 1% en la EFP lleva a un alza del 0.123% en la inversión extranjera.	Variables ambientales influyen en la huella ecológica.
A35	(Q. Xu et al., 2024)	Modelo de huella ecológica tridimensional mejorado.	La profundidad de la huella alcanzó hasta 39.265 hm ² /persona en algunas áreas urbanas durante el periodo.	Cálculo de la huella ecológica.
A36	(Y. Xu et al., 2023)	Impacto de las cadenas de valor globales (CGV) agrícolas en la huella ecológica.	La mejora en la posición de las CGV agrícolas reduce la huella ecológica en un 15%.	Modelar el impacto de las actividades de estudio.
A37	(Yang & Cai, 2020)	Modelo adaptado de huella ecológica para evaluar la seguridad ecológica de la aglomeración urbana.	La cuenta de recursos hídricos es la segunda mayor contribución a la huella ecológica de la aglomeración urbana.	Evaluación dinámica y tridimensional de la huella ecológica.
A38	(Yavaş et al., 2024)	Modelo de investigación transversal para analizar los datos de 352 estudiantes.	La huella de carbono es de 11.1±4.3 toneladas, representando aproximadamente el 56 % de la huella ecológica total.	Analizar la huella ecológica y sus implicaciones.
A39	(D. Zhang et al., 2022)	Evaluar la sostenibilidad ecológica y la eficiencia en el uso de recursos (RUE).	La huella ecológica (EF) per cápita ha sido consistentemente más alta que la biocapacidad.	Análisis detallado de los factores que influyen en la huella ecológica.
A40	(J. Zhang & Ma, 2021)	Enfoque innovador para analizar la seguridad ecológica urbana.	Disminución del 20% en la huella ecológica en las áreas urbanas estudiadas, lo que indica una mejora en la seguridad ecológica.	Modelación dinámica de la seguridad ecológica.
A41	(Zhou et al., 2022)	Enfoque innovador basado en simulaciones del modelo ARDL dinámico.	Aumento en los recursos naturales totales tiene un efecto negativo a largo plazo sobre la huella ecológica.	Modelar dinámicamente la huella ecológica.

Nota. Elaborado por los autores.

1.2.2. Etapa 2.- Bibliometría.

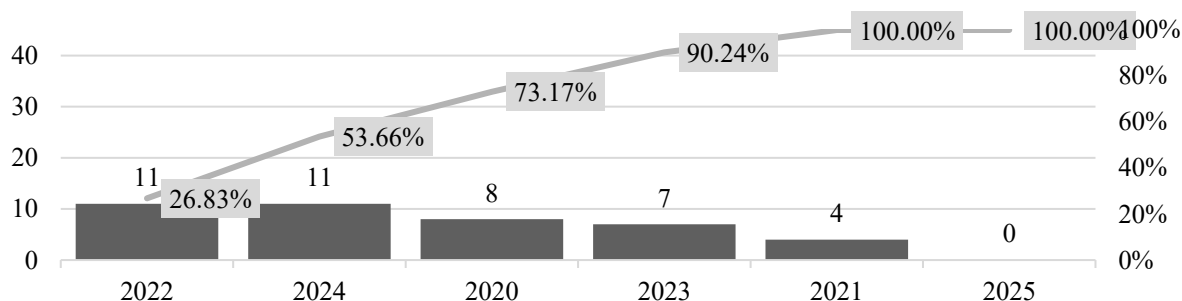
Se conoce al análisis bibliométrico como una técnica que es utilizada para el estudio del campo científico de interés, que está enfocado en la medición de la calidad de los 41 artículos seleccionados y a partir de una visión a las tendencias, se busca la identificación del conteo de citas, de palabras claves, del índice de impacto de revista y de las interrelaciones o co – autoría entre países, esto permite interpretar el desempeño científico en relación con el tema de investigación.

- Año de publicación de artículos.

La cuantificación de los artículos por año de publicación permite la examinación de la evolución dentro de un intervalo de tiempo (los últimos cinco años) de la producción científica sobre estudios relacionados al cálculo de la huella ecológica y al modelado dinámico. Se analizan los patrones de crecimiento o reducción de la cantidad de publicaciones como se observa en la figura 4.

Figura 4.

Diagrama de publicación de artículos seleccionados.



Nota. Elaborado por los autores.

Se indica que el año 2025 aún es un periodo muy corto para tener una producción considerable de estudio con relación al tema involucrado, por lo tanto, se incluye el año 2020 que dispone de 8 artículos seleccionados, mientras que se presenta un descenso en el 2021, lo que se obtienen 9 registros vinculados el campo de investigación, para el año 2022 existe un crecimiento de publicaciones con un total de 11 documentos, aunque en el 2023 este número se reduce a 7 estudios encontrados y para el año 2024 tiende a crecer con 11 artículos. Además, se evidencia que para el último periodo no existen publicaciones relevantes al tema de estudio lo que implica la necesidad de un tiempo mayor para el 2025 para la detección de investigación influyentes.

- Análisis de citas.

De las 41 publicaciones incluidas para su respectivo estudio, se introducen el número de citas de cada documento seleccionado, esto con la finalidad de la demostración de los artículos que han sido influyente y han contribuido al avance del conocimiento de forma significantes para investigaciones futuras. Además, se utiliza como medida de calidad como se observa en la tabla 5.

Tabla 4.
Número de citas por autor.

N°	Autor	N° de citas	N°	Autor	N° de citas
A1	(Acevedo et al., 2023).	17	A22	(Ma et al., 2022).	25
A2	(Adjei et al., 2021).	11	A23	(Maués et al., 2022).	2
A3	(Altıntaş et al., 2023).	5	A24	(Menendez et al., 2023).	3
A4	(Aminizadeh et al., 2024).	5	A25	(Omoke et al., 2020)	88
A5	(Amowine et al., 2021).	17	A26	(Santoso et al., 2022).	3
A6	(Behera et al., 2024).	3	A27	(Shi et al., 2020).	18
A7	(Bin et al., 2023).	1	A28	(Sun et al., 2020).	23
A8	(Chi, 2024).	0	A29	(Tian et al., 2020).	8
A9	(Dobos & Tóth, 2024).	2	A30	(Ullah & Lin, 2024).	6
A10	(Fernández et al., 2020).	10	A31	(Vaisi et al., 2021).	12
A11	(Guan et al., 2022).	6	A32	(Wagner & Gibberd, 2022).	2
A12	(Guo et al., 2020).	24	A33	(Wang et al., 2022).	111
A13	(Hu et al., 2024).	3	A34	(Williams et al., 2022).	11
A14	(Huamaní, 2024).	0	A35	(Q. Xu et al., 2024).	2
A15	(Jiang et al., 2022).	26	A36	(Y. Xu et al., 2023).	9
A16	(Kerdsap et al., 2023).	0	A37	(Yang & Cai, 2020).	107
A17	(Y. Khan et al., 2023).	18	A38	(Yavaş et al., 2024).	0
A18	(Kutlar et al., 2022).	13	A39	(D. Zhang et al., 2022).	15
A19	(C. Liu & Yang, 2020).	38	A40	(J. Zhang & Ma, 2021).	37
A20	(J. Liu et al., 2024).	0	A41	(Zhou et al., 2022).	94
A21	(Lu & Chen, 2023).	0			

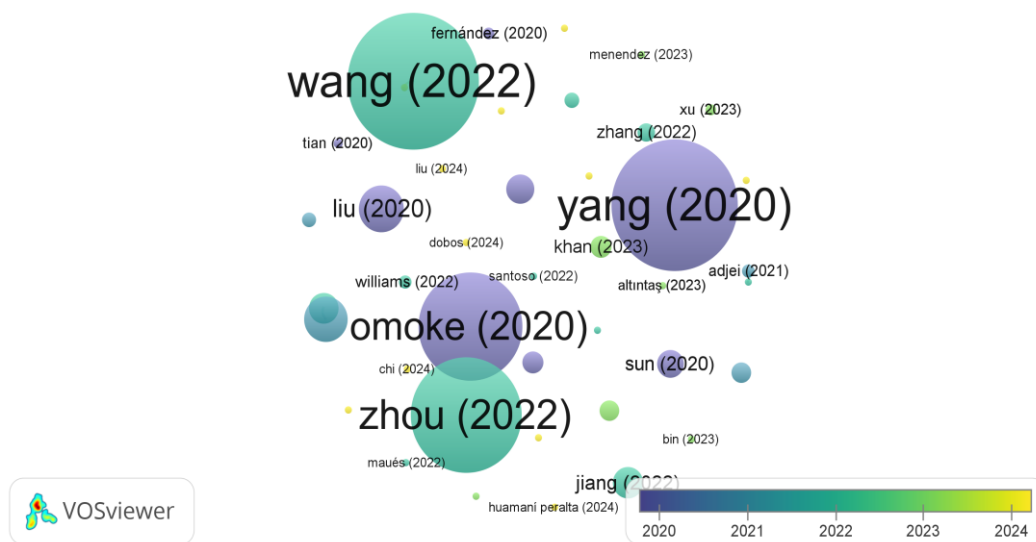
Nota. Elaborado por los autores.

Dentro de la tabla 6, se demuestra que artículos como el del autor Wang et al., (2022) con un total de 111, este se considera como la publicación seleccionada con mayor influencia en el campo de investigación estudiado, además, la investigación de Yang & Cai, (2020) se posiciona en segundo lugar con 107 como número de citado. La mayoría de los estudios establecidos tienen por lo menos 1 cita en base a las métricas indicadas en sus bases de datos, aunque no es un indicador que su impacto sea menor, se debe considerar que las publicaciones del año 2024 son las menos citadas por tener un periodo más bajo por lo que causa que estudios como el de J. Liu et al., (2024) en comparación a los documentos del 2020 al 2022 que han

tiempo un mayor tiempo de presencia para ser considerados por futuros autores. A partir del diagrama realizado en VOSviewer se visualiza la magnitud de los documentos como se observa en la figura 5.

Figura 5.

Análisis de citas de artículos.



Nota. Elaborado mediante VOSviewer.

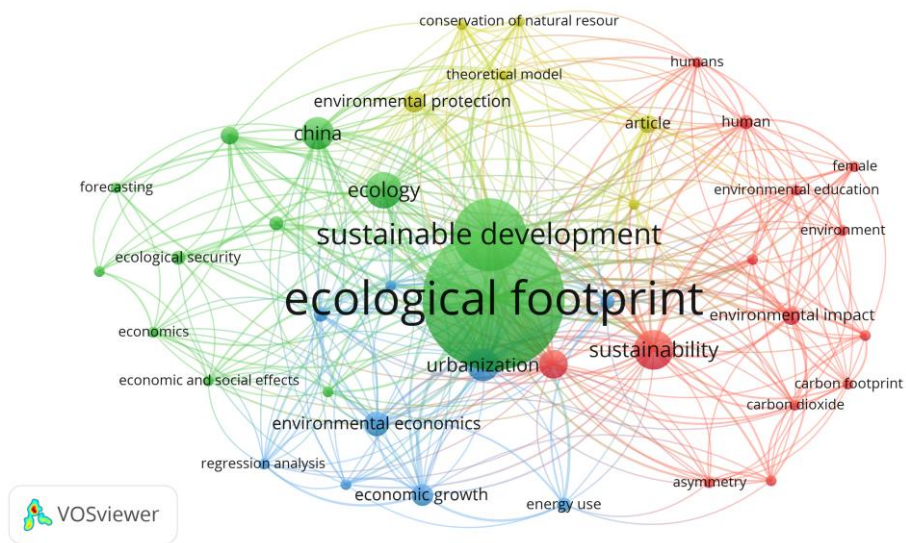
Dentro de este diagrama, se observa que los estudios con mayor citación con el año 2020 (color lila) y 2022 (color turquesa) al ser demostrado en figuras de mayor proporción, sin embargo, los estudios del 2023 de color verde no demuestran artículos con citas que permita competir con los periodos anteriores, así mismo para el año 2024 (color amarillo) que son poco perceptibles lo que evidencia que su número de citas es significativamente bajo en el campo de investigación.

- Análisis de coocurrencia.

A partir de esta técnica, se identifica la frecuencia por parte de dos o más términos que tienen presencia dentro del conjunto de artículos de investigación seleccionados, esto con el fin que se detecten las relaciones temáticas y de los patrones halladas el campo investigativo, por lo tanto, se realiza un mapeo de la estructura conceptual sobre los documentos vinculados al cálculo de la huella ecológica y a su modelación dinámica, esto para demostrar las tendencias del tema como se observa en la figura 6.

Figura 6.

Análisis de palabras claves (coocurrencia).



Nota. Elaborado mediante VOSviewer.

Dentro de esta figura, se demuestra un conjunto de palabras que se agrupan en cuatro grupos, se inicia con el primer clúster (color rojo), se tiene palabras dominantes traducidas al español como “sostenibilidad” con un total de 11 ocurrencias, además se incluye “desarrollo económico” con un valor de 8. En el segundo clúster (color verde) incluyen grandes términos como “huella ecológica” con un número de 39 ocurrencias, que lo señala como el de mayor presencia dentro de los artículos, después está la palabra “desarrollo económico” que se posiciona en el segundo lugar con una ocurrencia de 20. Para el tercer clúster 3 (color azul), se posicionan términos menor ocurrentes como son las palabras “urbanización” con un valor de 9 y “economía ambiental” con 7, resaltando que mantienen una influencia en ciertos artículos. Como último, está el clúster 4 (color amarillo) implica a palabras claves con menor de 6 ocurrencias como son “protección ambiental”, “modelos teóricos”, entre otros.

- Análisis de acoplamiento bibliográfico entre revistas.

Se entiende al acoplamiento bibliográfico a la evaluación de la relación y cohesión de las distintas revistas científicas a través de sus referencias que comparten, es decir, que se verifica si las fuentes citan a otras, con esto se identifica a las revistas que cubren el área de investigación con similitud o que tengan un interés en común. Se realiza un mapeo de la literatura establecida donde se destaca las diferentes conexiones e interrelaciones entre las publicaciones seleccionadas como se observa en la figura 7.

Figura 7.
Acoplamiento bibliográfico entre revistas.



Nota. Elaborado mediante VOSviewer.

Los datos del acoplamiento bibliográfico se agrupan en tres clústeres según el programa VOSviewer. El primer clúster (rojo) incluye seis fuentes clave, destacando la revista Investigación sobre la contaminación y la ciencia ambiental, vinculada a dos documentos y con una fuerza total de enlace de 6, lo que refleja citas compartidas. El segundo clúster (verde) agrupa cinco fuentes, siendo la más influyente la Revista de Producción Limpia, conectada con cuatro artículos y enlazada a 10 revistas del grupo, lo que evidencia su relevancia. El tercer clúster incluye revistas con mayor número de enlaces, como sostenibilidad (Suiza), con 12 vínculos, y la Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública, con una fuerte conexión de 9 enlaces, ambos mediante referencias compartidas. Estos clústeres reflejan la organización temática y la influencia de las fuentes en el análisis bibliométrico.

- Análisis de coautoría entre países.

Esta técnica que se utiliza en los estudios bibliométricos donde se examina las colaboraciones de investigación y de las conexiones entre los países en el desarrollo de un estudio. Por esto mismo, este análisis se dispone a identificar la frecuencia de las co – autorías entre naciones para que se destaque las contribuciones conjuntas entre autores en la producción científica de forma internacional. Mediante el programa VOSviewer se detectan los patrones de cooperación en los artículos del portafolio bibliográfico como se observa en la Figura 8.

Figura 8.
Análisis de interrelación entre países.



Nota. Elaborado mediante VOSviewer.

Existen dos clústeres de colaboración internacional en estudios sobre la huella ecológica y su modelación dinámica. El clúster 1 (rojo) está liderado por investigadores de China, vinculados a 21 documentos y conectados con varios países, reflejando su papel central. Pakistán colabora en dos artículos, mientras que Reino Unido, Arabia Saudita y Ecuador han participado en uno cada uno. En el clúster 2 (verde), Ghana figura con dos colaboraciones, una con China y otra con Sudáfrica. Esta distribución evidencia cómo se comparte el conocimiento a nivel global, como se detalla en la tabla 6 del estudio.

Tabla 5.
Registro de países colaboradores.

Clúster 1	Artículos	Clúster 2	Artículos
China.	21	Ghana.	1
Pakistán.	2	Sudáfrica.	1
Arabia Saudita.	1		
Ecuador.	1		

Nota. Elaborado por los autores.

Se evidencia que la mayor parte de las investigaciones las realiza el país de China, esto destaca un mayor interés de este campo por parte de este país, además se debe tener en cuenta que un solo documento involucra a varios investigadores internacionales en un solo documento como es el caso de tema donde se indica un enfoque dinámico modificado de ARDL y KRLS realizado por Zhou et al., (2022) donde participan un autor de China, Pakistán, Arabia Saudita, Reino Unido y Ecuador, esto evidencia que en el desarrollo de temas de este campo mantienen un interrelación internacional con un nivel alto de cooperación.

1.2.3. Etapa 3.- Análisis sistemático.

Dentro de esta etapa, se establece una revisión de artículos para la identificación de los enfoques, técnicas y los instrumentos utilizados, para la comprensión de una manera más amplia sobre el cálculo de la huella ecológica y de su modelación dinámica, por lo tanto, se buscar estructurar esta información en una secuencia de secciones como base a la formulación de preguntas de investigación como se observa en la tabla 7.

Tabla 6.
Matriz de métodos, técnicas y herramientas de artículos.

Nº	Enfoque	Metodología	Técnica	Herramientas
A1	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelos de regresión auto – regresiva (ARDL).	Pruebas de raíz unitaria (PP).
A2	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Análisis de huella ecológica (EFA).	Software Predictive Analytics.

Tabla 6.*Matriz de métodos, técnicas y herramientas de artículos (continúa).*

N°	Enfoque	Metodología	Técnica	Herramientas
A3	Cuantitativo.	Deductivo.	Método de causalidad Bootstrap.	Análisis de series temporales.
A4	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo dinámico espacial Durbin.	Curva de Kuznets ambiental (EKC).
A5	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo dinámico de eficiencia ecológica (DSTFEE).	Análisis de series temporales.
A6	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelos de regresión (CS-ARDL).	Análisis de series temporales.
A7	Cuantitativo.	Deductivo.	Redes Neuronales LSTM.	Análisis de series temporales.
A8	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Regresión cuantílica simultánea	Regresión ordinaria modificada (FMOLS).
A9	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo dinámico de Leontief.	Paneles de insumo-producto.
A10	Cuantitativo.	Deductivo	Análisis factorial.	Calculadora de huella ecológica. Software SPSS.
A11	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo de compensación ecológica.	ArcGIS; Modelos matemáticos.
A12	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelos de predicción gris GM.	Análisis estadístico.
A13	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelado de ecuaciones estructurales (SEM).	Análisis GIS; estadísticas de recursos biológicos.
A14	Cuantitativo.	Deductivo.	Encuesta.	Cuestionarios; Excel.
A15	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Dinámica de sistemas (SD).	Modelos de simulación.
A16	Cualitativo.	Inductivo.	Entrevistas; observación.	Grupos focales.
A17	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelo de corrección de errores vectoriales (VECM).	Test de cointegración (NARDL).
A18	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo de corrección de errores vectoriales (PVAR).	Análisis de mínimos cuadrados.
A19	Cuantitativo.	Deductivo.	Evaluación de sostenibilidad ecológica.	Huella ecológica-emergética.
A20	Cuantitativo.	Deductivo.	Método de componentes.	Huella ecológica-emergética.
A21	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo de predicción gris	Análisis de superficie de tendencias.
A22	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo STIRPAT.	Regresión Ridge y Lasso.
A23	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Encuestas.	Cuestionario de Google Forms.
A24	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelado dinámico-mecanicista.	VenSim.
A25	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelos de corrección de errores.	Análisis de series temporales.
A26	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Análisis de sistemas dinámicos.	Simulación de escenarios.

Tabla 6.*Matriz de métodos, técnicas y herramientas de artículos (continúa).*

N°	Enfoque	Metodología	Técnica	Herramientas
A27	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelo de huella ecológica.	Análisis de series temporales.
A28	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelación matemática.	Simulación de escenarios.
A29	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelación matemática.	Regresión geográfica (GTWR).
A30	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelos de regresión auto – regresiva (ARDL).	Software de modelado.
A31	Cuantitativo.	Deductivo.	Método de componentes.	Análisis estadístico.
A32	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Encuesta; entrevistas.	Cuestionarios.
A33	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelo STIRPAT.	Análisis estadístico.
A34	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelos de regresión auto – regresiva (ARDL).	Prueba (cointegración asimétrica).
A35	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelo de huella ecológica tridimensional.	Regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS); ArcGIS.
A36	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelo de panel dinámico.	Análisis estadístico.
A37	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo de huella ecológica.	Análisis de series temporales.
A38	Cuantitativo.	Deductivo.	Encuesta.	Análisis estadístico; Software SPSS.
A39	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo de huella ecológica (EF).	Software estadístico (PLS).
A40	Cuantitativo.	Deductivo.	Análisis emergético.	Huella ecológica-emergética.
A41	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo ARDL dinámico.	Software de modelado.

Nota. Elaborado por autor.

En base a la tabla anterior, se estructura la información de cada artículo, se evidencia el uso de distintas técnicas que desde modelos de regresión que se adaptan a los estudios ambientales, en análisis estadísticos con el uso de programas estadísticos como, modelos dinámicos que incluyen software de simulación como ArcGIS o Vensim, además del uso de encuestas y entrevistas para la recolección de datos con la ayuda de cuestionarios.

- Enfoques de investigación.

Con el análisis de los enfoques, se categoriza las preferencias de los artículos al uso de métodos cuantitativo, cualitativos o una la combinación de enfoques para la asignación de una visión más amplia a los datos que se vinculen al trabajo de investigación asignado, por lo tanto, se realiza el conteo de los artículos que aplican cada uno de estos grupos como se observa en la tabla 8.

Tabla 7.
Enfoques utilizados en artículos.

Enfoque	Conteo	Total
Cuantitativo.	A1, A3, A4, A5, A6, A7, A9, A10, A11, A13, A14, A18, A19, A20, A21, A22, A24, A30, A31, A37, A38, A39, A40, A41	24
Cualitativo.	A16.	1
Mixto.	A2, A8, A12, A15, A17, A23, A25, A26, A27, A28, A29, A32, A33, A34, A35, A36.	16

Nota. Elaborado por los autores.

El enfoque cuantitativo que es utilizado por un total de 24 de artículos de investigación del portafolio bibliográfico que indica una mayor frecuencia de eso de métodos estadísticos que implique la disposición de datos numéricos para el análisis de los resultados obtenidos, mientras que el enfoque cualitativo solo es adoptado por un artículos que utiliza la exploración para conseguir datos del tipo no numérico, además que se utilizan técnicas como la entrevista o la observación de la situación de estudio. Como último, el enfoque mixto incluye un total de 16 artículos que aprovechan las fortalezas de los métodos cuantitativos y cualitativos para una mejor comprensión.

- Técnicas aplicadas.

La identificación de las técnicas en los artículos seleccionados en la revisión sistemática permite el análisis y su clasificación para que sean adaptados al tema de investigación para así robustecer su marco metodológico. Además, se facilita en la identificación de brechas de conocimiento y la aplicación de propuestas con un nivel de innovación respecto a la modelación dinámica de la huella ecológica en un entorno universitario como se observa en la tabla 9.

Tabla 8.
Técnicas aplicadas en artículos.

Nº	Técnica	Conteo	Total
1	Modelos ARDL.	A1, A6, A30, A34, A41	5
2	Modelo de huella ecológica.	A2, A27, A37, A35, A39	5
3	Modelos dinámicos.	A4, A5, A9, A15, A24, A26, A36	7
4	Método de casualidad y predicción.	A3, A12, A21	3
5	Modelo de corrección de errores.	A17, A18, A25	3
6	Encuesta.	A14, A16, A23, A32, A38	5
7	Entrevista.	A32	1
8	Modelos ambientales.	A11, A19, A22, A33, A40	5
9	Modelos estadísticos.	A8, A10, A20, A31	4
10	Modelos estructurales.	A7, A13, A28, A29	4

Nota. Elaborado por los autores.

La tabla de técnicas muestra una diversidad metodológica. Los modelos dinámicos lideran con siete aplicaciones, seguidos por los modelos ARDL, huella ecológica, modelos ambientales y técnicas de recolección de datos primarios, cada uno con cinco. Los modelos estadísticos y matemáticos tienen cuatro usos. Métodos de causalidad, predicción y corrección de errores aparecen tres veces, y la entrevista solo una.

Con los resultados señalados, se utiliza el proceso analítico jerárquico (AHP) para la evaluación de las técnicas a partir de una comparativa de elementos pares donde se asignan valores que implican a la importancia que tiene una alternativa frente a otra, por esto es considerado una herramienta versátil. Con la utilización de este método se identifica las técnicas que tienen como criterio una mayor influencia al tema de metodología para la huella ecológica y su modelación dinámica en la Universidad Estatal Península de Santa Elena. Mediante una serie de cálculos que cuantifiquen el peso de cada alternativa y así tomar una decisión de forma objetiva para la selección de la técnica que este alineado con el objetivo de la investigación. Por lo tanto, se elabora un diagrama que estructure el objetivo, las alternativas a evaluar y de una simbología para una simplificación del proceso, tal como se observa en la figura 9.

Figura 9.
Técnicas planteadas para AHP.

Objetivo	Alternativa	Símbolo
Desarrollar un estado de arte mediante la revisión literaria existente para respaldar el cálculo de la huella ecológica y comprender su impacto en el entorno universitario a lo largo de los años.	Modelos ARDL	M.AR
	Modelo de huella ecológica	M.HE
	Modelos dinámicos	M.D
	Método de causalidad y predicción	M.CP
	Modelo de corrección de errores	M.CE
	Encuesta	ENC
	Entrevista	ENT
	Modelos ambientales	M.AM
	Modelos estadísticos	M.ET
	Modelos estructurales	M.ES

Nota. Elaborado por los autores.

A partir de este diagrama, se enlistan las alternativas y de su respectivo símbolo para su reconocimiento en el desarrollo de las matrices (anexo 1), este proceso inicia con la elaboración de la matriz de juicio en donde se reflejan las comparaciones pareadas con la escala de Saaty

que utilizan los valores numéricos que evalúa la importancia relativa, por ejemplo, el valor de 1 indica un criterio de igual importancia a su par, mientras que una puntuación de 9 significa que la primera alternativa tiene una mayor importancia en comparación a su par. Esto permite la proporción de una base de forma cuantitativa con el cálculo de los pesos de cada una de las técnicas analizada y así poder identificar la de mayor impacto como se observa en la tabla 10.

Tabla 9.

Matriz de juicios (AHP).

Técnicas	M.AR	M.HE	M.D	M.CP	M.CE	ENC	ENT	M.A M	M.ET	M.ES
M.AR.	1	7	3	9	5	4	6	9	5	6
M.HE.	1/7	1	1/3	5	1/2	1/3	2	5	1/2	2
M.D.	1/3	3	1	7	3	2	4	7	3	4
M.CP.	1/9	1/5	1/7	1	1/5	1/7	1/3	1	1/5	1/3
M.CE.	1/5	2	1/3	5	1	1/2	2	5	1	2
ENC.	1/4	3	1/2	7	2	1	3	7	2	3
ENT.	1/6	1/2	1/4	3	1/2	1/3	1	3	1/2	1
M.AM.	1/9	1/5	1/7	1	1/5	1/7	1/3	1	1/5	1/3
M.ET.	1/5	2	1/3	5	1	1/2	2	5	1	2
M.ES.	1/6	1/2	1/4	3	1/2	1/3	1	3	1/2	1
Suma	2,6	19,4	6,2	46,0	13,9	9,2	21,6	46,0	13,9	21,6

Nota. Elaborado por los autores.

En la matriz, se obtiene que la técnica M.AR y M.AM se le asignan valores más alto en sus filas, esto resalta que tienen una influencia mayor en comparación a sus pares. Por otro lado, para las alternativas M.CP y M.AM sus valores son bajo que indica una menor relevancia. Las sumas indican que si el número es mayor es índice de su par tiene mayor predominancia dentro de la evaluación, con estos datos se realiza la matriz ponderada en la siguiente tabla 11.

Tabla 10.

Matriz de ponderaciones.

Técnicas	Matriz Ponderada									
M.AR.	0,373	0,361	0,477	0,196	0,360	0,431	0,277	0,196	0,360	0,277
M.HE.	0,053	0,052	0,053	0,109	0,036	0,036	0,092	0,109	0,036	0,092
M.D.	0,124	0,155	0,159	0,152	0,216	0,215	0,185	0,152	0,216	0,185
M.CP.	0,041	0,010	0,023	0,022	0,014	0,015	0,015	0,022	0,014	0,015
M.CE.	0,075	0,103	0,053	0,109	0,072	0,054	0,092	0,109	0,072	0,092
ENC.	0,093	0,155	0,080	0,152	0,144	0,108	0,138	0,152	0,144	0,138
ENT.	0,062	0,026	0,040	0,065	0,036	0,036	0,046	0,065	0,036	0,046
M.AM.	0,041	0,010	0,023	0,022	0,014	0,015	0,015	0,022	0,014	0,015
M.ET.	0,075	0,103	0,053	0,109	0,072	0,054	0,092	0,109	0,072	0,092
M.ES.	0,062	0,026	0,040	0,065	0,036	0,036	0,046	0,065	0,036	0,046

Nota. Elaborado por los autores.

Con la matriz ponderada se coloca cada uno de los pesos personalizados para cada técnica, mismo que son derivados de la matriz de juicios, con todos estos valores, se realiza la

sumatoria de cada fila para conseguir la ponderación y sus porcentajes de influencia para la asignación de su calificación, esto otorga una contribución al marco metodológico tal como se observa en la tabla 12.

Tabla 11.
Clasificación y consistencia de técnicas.

Técnicas	Sumatoria	Ponderación	%	Clasificación
M.AR.	3,306	0,331	33,06%	1
M.HE.	0,668	0,067	6,68%	6
M.D.	1,759	0,176	17,59%	2
M.CP.	0,193	0,019	1,93%	10
M.CE.	0,830	0,083	8,30%	5
ENC.	1,304	0,130	13,04%	3
ENT.	0,458	0,046	4,58%	7
M.AM.	0,193	0,019	1,93%	9
M.ET.	0,830	0,083	8,30%	4
M.ES.	0,458	0,046	4,58%	8
Técnicas.	10,000	1,000	100,00%	
Landa Max	10,5673863		ICA	1,49
IC	0,06304292		CR	0,042
¿Validez?			ACEPTABLE	

Nota. Elaborado por los autores.

Se evidencia que los métodos ARDL (M.AR) tiene una mayor influencia debido a que ocupa el primer lugar con el 33,06 %, esto indica una predominancia a esta técnica, el segundo lugar se lo otorga a los modelos dinámicos (M.D) con un 17,59 % y a las encuestas (EN) en tercer lugar por una ponderación del 13,04 %, lo que sugiere que son técnicas que tienen una alta relevancia al ser aplicados al tema de investigación. Por otro lado, los métodos de casualidad y predicción (M.CP) y los modelos ambientales (M.A) se ubican en el noveno y décimo lugar en la clasificación con solo el 1,93 % de importancia al estudio.

Con los valores obtenidos en el AHP, se calcula su índice de consistencia (IC) que obtiene un valor de 0,063 que con el índice de consistencia aleatorio (ICA) que indica que al tener presente 10 alternativa, este valor es de 1,49. Esto tiene como resultado que el ratio de consistencia (CR) sea de 0,042 que es inferior al valor del umbral (0,10) que confirma que los valores de la matriz de juicios son consistentes, es decir, que los resultados son aceptados, así dando validez a su confiabilidad.

- Instrumentos aplicados.

Con los instrumentos identificados que se utilizan dentro de los artículos científicos seleccionados a partir de la extracción de datos sobre herramientas, se establece una clasificación en base a su importancia o influencia al tema de investigación, este proceso otorga un marco referencial para la identificación de tendencias como se observa en la tabla 13.

Tabla 12.
Instrumentos aplicados en artículos.

Instrumentos	Conteo	Total
Pruebas de raíz unitaria (PP).	A1	1
Software predictive analytics.	A2, A39	2
Curva de Kuznets ambiental (EKC).	A4	1
Análisis de series temporales.	A3, A5, A6, A7, A25, A27, A37	7
Regresión ordinaria modificada (FMOLS).	A8	1
Paneles de insumo-producto.	A9	1
Calculadora de huella ecológica.	A10, A40	2
Software SPSS.	A10, A38	2
ArcGIS.	A11, A13, A35	3
Estadísticas de recursos biológicos.	A13	1
Cuestionarios.	A14, A23, A32	3
Excel.	A14	1
Modelos de simulación.	A15	1
Grupos focales.	A16	1
Test de cointegración (NARDL).	A17	1
Análisis de mínimos cuadrados.	A18, A35	2
Huella ecológica-emergética.	A19, A20	2
Análisis de superficie de tendencias.	A21	1
Regresión Ridge y Lasso.	A22	1
Vensim.	A24	1
Simulación de escenarios.	A26, A28	2
Regresión geográfica (GTWR).	A27	1
Software de modelado.	A28, A41	2
Análisis estadístico.	A12, A31, A33, A36, A38	4
Prueba (cointegración asimétrica).	A34	1

Nota. Elaborado por los autores.

En la tabla se obtiene que, en los artículos establecidos, existe una gran diversidad de herramientas que son aplicadas para el desarrollo de sus investigaciones, donde se destaca los análisis de series temporales utilizada por 7 estudios ((A3, A5, A6, A7, A25, A27, A37) que indica que los datos cronológicos son relevantes para los autores y del análisis estadístico usado dentro de 4 estudios (A12, A31, A33, A36, A38) para el procesamiento y en la interpretación de los datos obtenidos. Además, las herramientas como ArcGIS y cuestionarios se tiene un conteo de 3 utilizaciones en función a los análisis espaciales y a la recolección de datos a partir de una muestra poblacional.

Para el inicio del proceso AHP aplicados a los instrumentos, se organizan mediante la relevancia de la herramienta dentro de una técnica, esto facilita que sean evaluados de forma detallada para la selección de las alternativas que sean adaptados al tema de investigación. Dentro de los modelos ARDL (M.AR) se agrupan el análisis de series temporales usado en el estudio de patrones, la regresión ordinario-modificada, los softwares de modelado y a las pruebas de cointegración asimétrica como se observa en la tabla 14

Tabla 13.
Clasificación de pesos de herramientas.

Técnicas	Peso global	Herramientas	Peso Unitario	Landa	CR	Peso Global	%	Clasificación
Modelos ARDL.	0,3306	M.AR1.	0,733	4,017	0,006	0,242	24,24%	1
		M.AR2.	0,093			0,031	3,07%	14
		M.AR3.	0,087			0,029	2,88%	15
		M.AR4.	0,087			0,029	2,88%	16
Modelo de huella ecológica.	0,0668	M.HE1.	0,500	2,000	0,000	0,033	3,34%	11
		M.HE2.	0,500			0,033	3,34%	12
Modelos dinámicos.	0,1759	M.D1.	0,300	6,082	0,013	0,053	5,27%	3
		M.D2.	0,049			0,009	0,87%	24
		M.D3.	0,070			0,012	1,22%	19
		M.D4.	0,063			0,011	1,11%	20
		M.D5.	0,274			0,048	4,81%	4
		M.D6.	0,244			0,043	4,30%	6
Método de casualidad y predicción.	0,0193	M.CP1.	1	0,000	0,000	0,019	1,93%	17
Modelo de corrección de errores.	0,0830	M.CE1.	0,500	2,000	0,000	0,042	4,15%	7
		M.CE2.	0,500			0,042	4,15%	8
Encuesta.	0,1304	ENC1.	0,875	2,000	0,000	0,114	11,41%	2
		ENC2.	0,125			0,016	1,63%	18
Entrevista.	0,0458	ENT1.	1	0,000	0,000	0,046	4,58%	5
Modelos ambientales.	0,0193	M.AM1.	0,500	2,000	0,000	0,010	0,96%	21
		M.AM2.	0,500			0,010	0,96%	22
Modelos estadísticos.	0,0830	M.ET1.	0,500	2,000	0,000	0,042	4,15%	9
		M.ET2.	0,500			0,042	4,15%	10
Modelos estructurales.	0,0458	M.ES1.	0,724	3,111	0,096	0,033	3,32%	13
		M.ES2.	0,083			0,004	0,38%	25
		M.ES3.	0,193			0,009	0,89%	23

Nota. Elaborado por los autores.

Como indican los resultados obtenidos en la tabla 15, a partir del método AHP que se aplica, revela que la herramienta con una relevancia mayor es M.AR1 (análisis de series temporales) que se posiciona en primer lugar con el 24,24 % por una amplia utilización de modelaciones de distribución autorregresiva al relacionar las variables de estudio, en segundo lugar están ENC1 (cuestionarios) con el 11,41 % que destaca por su uso en la recolección de datos de la población seleccionada, mientras que M.D1 (prueba de raíz unitaria) con el 5,27 % que implica en la verificación de la hipótesis.

Para el cuarto lugar se obtiene a M.D5 (Vensim) que es un programa de simulación dinámica, en quinto se posiciona a ENT.1 (grupos focales) que son aplicados dentro de las entrevistas donde se gestiona la participación de varios involucrados con relación al estudio. El último instrumento seleccionado es M.D6 (simulación de escenarios) con el 4,30 %, que se aplica para la ejecución del modelo dinámico con distintos factores. Las demás herramientas no obtienen un porcentaje considerable como para ser influyentes en la elaboración del trabajo de investigación, por lo tanto, su uso no tiene un impacto alto, pero mantienen su importancia para futuros estudios especializados en la huella ecológica en distinto ámbito.

1.2.4. Etapa 4.-

1.2.5. Preguntas de investigación.

Para el desarrollo de las preguntas de investigación, se debe plantear los objetivos que deben cumplirse, esto como una garantía de que se cubran todos los aspectos que tengan relevancia con el tema de estudio. Su elaboración debe de alinearse con la metodología asignada en la revisión bibliométrica para la orientación en el análisis y síntesis de la información como se observa en la tabla 15.

Tabla 14.
Objetivos de revisión planteados.

Objetivos de revisión	
OB1.	Estructurar una revisión sistemática mediante técnicas pertinentes para la selección de documentos con relación al tema de estudio.
OB2.	Conocer el campo científico de estudio mediante un análisis bibliométrico para la detección del grado de interés de la huella ecológica.
OB3.	Seleccionar las técnicas y herramientas a través del método AHP para su aplicación al trabajo de investigación

Nota. Elaborado por los autores.

Los objetivos que se proponen consideras tres aspectos importantes en el proceso de investigación, como primer objetivo (OB1) implica en la estructuración de la revisión a partir del método asignado al principio, se identifiquen los artículos de relevancia y que sean registrados en el estado del arte. Por otro lado, el segundo objetivo (OB2) involucra a la comprensión del campo científico acerca del tema de investigación, esto conlleva el uso de análisis bibliométricos para la obtención de tendencias como el grado de interés actual por parte de los autores de los estudios conseguidos en relación con la huella ecológica y su modelación dinámica. Como último objetivo (OB3) se especifica en el uso de métodos de toma de decisiones como (AHP) donde se evalúan las técnicas y herramientas para la selección del que tenga una mejor alineación a los objetivos de investigación y así estructurar un marco metodológico en forma concisa.

Se inicia con el planteamiento de las preguntas de investigación ligadas a uno de los objetivos de revisión, esto tiene la finalidad de ser una guía para la recopilación y el análisis de la información de los documentos seleccionados, por lo tanto, su formulación debe ser clara y específica al objetivo y que sean lo suficientemente amplia para dar cobertura al tema de interés y que se eviten desviaciones imprevistas. Se elaboran un total de cuatro preguntas para identifiquen el conocimiento necesario, sus tendencias y las herramientas utilizadas en los estudios previos para una mejor construcción del marco metodológico como se observa en la tabla 16.

Tabla 15.
Preguntas de investigación.

Preguntas de investigación		
P.1.	¿Cuál es la cantidad de artículos relacionados a la huella ecológica y su modelación dinámica?	OB.1.
P.2.	¿Cuál es la tendencia de publicaciones en los últimos cinco años con relación al tema de investigación?	OB.2.
P.3.	¿Qué técnicas y herramientas son utilizados en los artículos del portafolio bibliográfico?	OB.3.
P.4.	¿Cuáles son las técnicas y herramientas aplicadas dentro del trabajo de investigación?	

Nota. Elaborado por los autores.

La primera pregunta P.1 **¿Cuál es la cantidad de artículos relacionados a la huella ecológica y su modelación dinámica?**, aborda sobre la cuantificación de artículos que tengan relación del cálculo de la huella ecológica y en su modelación dinámico, que, a su vez está alineada al objetivo OB.1 para la identificación de volumen literario a disposición. Como resultado, con el uso de bases de datos (Scopus, Web of Science y Dimensions) que consigue

un total de 41 artículos de investigación publicados en los últimos cinco años y que se evidencia información como las propuestas, resultados obtenidos y de su sinergia con el tema de investigación de interés.

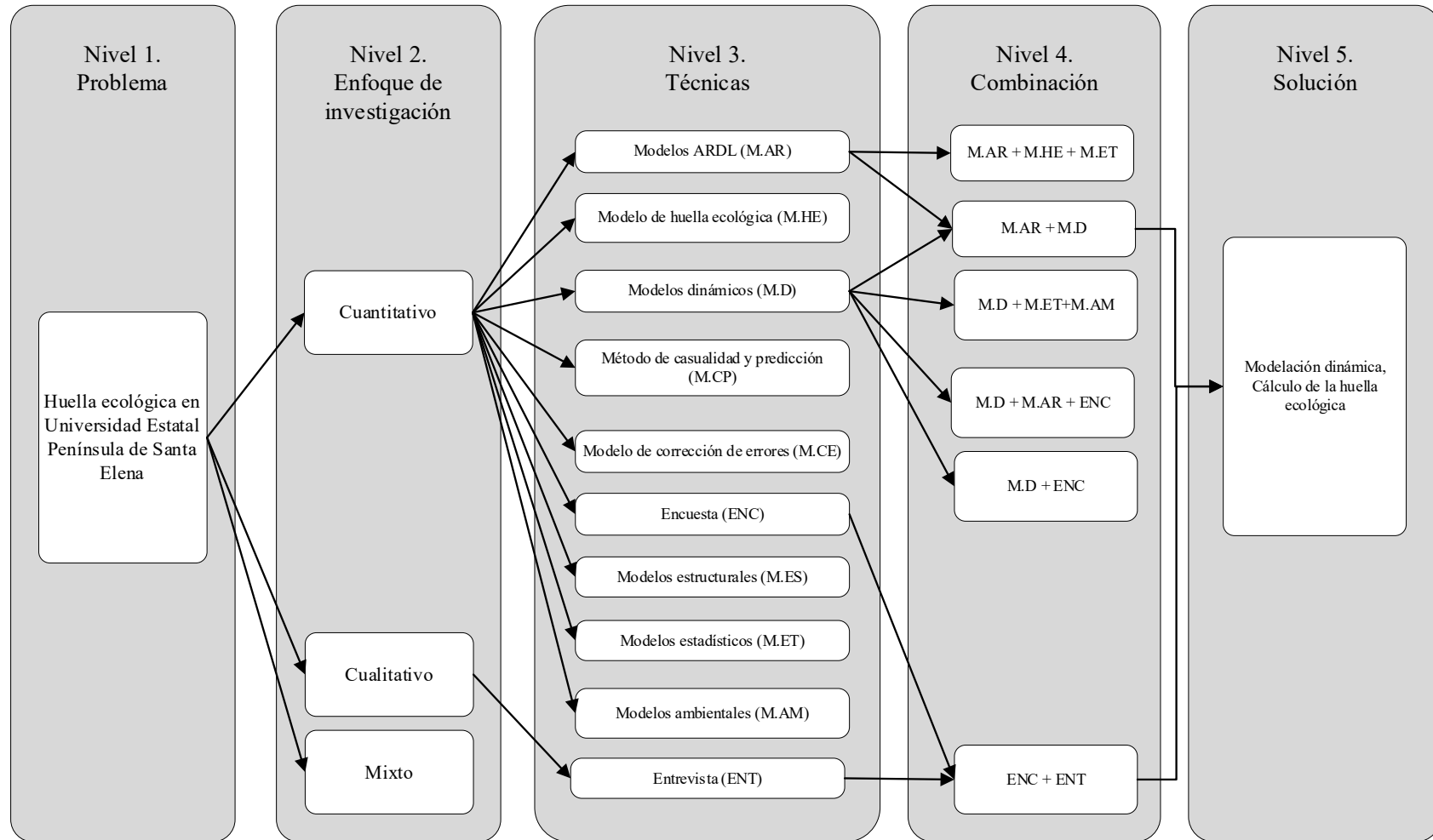
Para la segunda pregunta P.2 con la siguiente interrogante, **¿Cuál es la tendencia de publicaciones en los últimos cinco años con relación al tema de investigación?**, está vinculado con el objetivo OB.2 acerca del análisis bibliométrico que permite conocer el interés científico de los autores, su tendencia de publicación inicia mediados del año 2020 con un total de 8 artículos seleccionado, mientras que el 2021 se dio una baja de 4 publicaciones con relación al estudio, además en el año 2022 este número se incrementó a 11 estudios al tema, sin embargo, en el año 2023 este volvió a limitarse a 7 artículos. Como último el año 2024 se sitúa en el primer lugar con la cantidad de 11 documentos existentes en el campo científico de interés, demostrando un crecimiento con picos negativos. Como adicional el año 2025 no presentó ningún artículo con relación, por lo tanto, se descarta del análisis.

Para la tercera pregunta P.3 y al mismo tiempo P.4 son parte del tercer objetivo OB.3, donde se indica la búsqueda del enfoque, donde se evidencia la adopción de una investigación mixta para una recopilación tanto de datos numéricos y de información exploratoria. También se identifican las técnicas que utilizan en el contenido de los artículos, que con el método AHP se sustenta la aplicación de los modelos ARDL, los modelos dinámicos junto al uso de encuestas y entrevistas. Así mismo, se aplica AHP con las herramientas conseguidos que los más influyentes es el análisis de series temporales (M.D1), los cuestionarios (ENC1), las pruebas de raíz unitaria (M.AR1), uso de programas como VenSim (M.D5) y a los grupos focales (ENT1) como apoyo a las entrevistas y de la simulación de escenarios (M.D6) que permita un modelo visual de los efectos que implica una óptima metodología de la huella de ecológica y en su modelación dinámica.

1.3. Protocolo de investigación.

Este protocolo garantiza que el estudio se realice de manera sistemática y que se mantenga alineada a los objetivos que se plantean en la investigación, además que actúa como una hoja de ruta que indica varios niveles como es el problema existente, el enfoque determinado, las técnicas identificadas que la combinación de las seleccionadas con el método AHP para llegar a una solución como se observa en la figura 10.

Figura 10.
Protocolo de investigación.



Nota. Elaborado por los autores en base a Muyulema & Molina, (2024).

El diagrama demostrado que es en base a Muyulema & Molina, (2024), se demuestra cinco niveles que conllevan en la identificación del enfoque, técnicas y de sus combinaciones. Se inicia con el establecimiento del problema que es la huella ecológica actual que tiene la Universidad Estatal Península de Santa Elena, además los enfoques obtenidos son cuantitativo donde está una diversas cantidad de técnicas que se aplican como es el modelo ARDL, los modelos dinámicos, las encuestas, modelos de casualidad y predicción, modelos de corrección de errores, estructurales, estadísticos y matemáticos y para los estudios cualitativos es el uso de entrevista se vincula a este enfoque.

Con el uso del método AHP, se estiman las técnicas que son aplicadas dentro de la investigación, por lo tanto, se combinan para enriquecer el análisis de los datos como es la combinación (ENC + ENT) como resultado de técnicas para la recolección de datos dentro de una muestra poblacional, por otro lado, (M.AR y M.D) indican su utilización en el desarrollo del modelado junto a sus formulaciones y factores que se tienen en cuenta para el desarrollo de la solución que es una metodología para la huella ecológica y de su modelación dinámica a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

1.4. Discusión de resultados.

La revisión sistemática se organiza mediante el método ProKnow C, comenzando con la construcción de un portafolio bibliográfico a partir de bases de datos que incluyen métricas. Scopus aporta 115 documentos, Web of Science 30 registros con fuentes de calidad, aunque en su mayoría duplicados, y Dimensions 53 estudios relevantes. Con estos datos se aplica un filtrado siguiendo las directrices PRISMA, lo que permite seleccionar 41 artículos publicados en los últimos cinco años relacionados con el estudio. Así se responde a la primera pregunta de investigación sobre la cantidad de artículos vinculados a la huella ecológica y su modelación dinámica.

En la segunda parte, el análisis bibliométrico aplica diversas técnicas como el conteo de citas, destacando el estudio de Wang et al. (2022) con 111 citas, lo que refleja su alta influencia científica. También se analizan palabras clave como “huella ecológica” y “sostenibilidad”, organizadas en clústeres. El acoplamiento bibliográfico resalta a la revista Sostenibilidad (Suiza) y muestra interrelaciones entre países, lideradas por China. Además, se identifican colaboraciones con Arabia Saudita y Ecuador, evidenciando una dimensión internacional. Se responde a la segunda pregunta, mostrando una tendencia de publicaciones creciente pero no continua, pasando de 8 artículos en 2020 a 11 en 2024.

El proceso AHP fue clave para el análisis de enfoques de investigación, se describe que los estudios cuantitativos tienen una mayor utilización que implica a 24 artículos con este enfoque, mientras que los estudios cualitativos solo se aplican a un estudio, esto demuestra la necesidad de datos numéricos en el desarrollo de la investigación, por esto mismo, hay una cantidad moderada de estudios mixtos con un total de 16 documentos. Para las técnicas que aplican cada uno de los estudios, como referencia está el autor (Santoso et al., 2022) que otorga un análisis de sistema dinámico con una serie de formulaciones:

$$YF_L = \frac{Y_{KL}}{Y_{WL}} \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

YF_L = Factor de rendimiento del tipo de suelo en uso.

Y_{KL} = Productividad del tipo de uso del suelo en la región.

Y_{WL} = Productividad del tipo de uso de la tierra mundial.

Además de la formulación de la biocapacidad, el factor de rendimiento y el factor equivalente como se observa a continuación:

$$BC = A * YF * F_{EQ} \quad \text{Ec.2}$$

Donde:

BC = Biocapacidad.

A = Área terrestre.

YF = Factor de rendimiento.

F_{EQ} = Factor equivalente.

En respuesta a la tercera pregunta ¿Qué técnicas y herramientas son utilizados en los artículos del portafolio bibliográfico?, se indica que las técnicas adquiridas son los modelos dinámicos con una aplicación dentro de 7 artículos, los modelos ARDL y de huella ecológica con una utilización en 5 artículos, además existen técnicas de uso específico como los modelos de casualidad y predicción, modelos de corrección de errores y estructurales. Para los instrumentos, hay una diversa cantidad y el más destacado es el análisis de series temporales que los artículos que se usan son (A3, A5, A6, A7, A25, A27, A37), esto implica una mayor relevancia frente a estudios de huella ecológica.

A la pregunta de ¿Cuáles son las técnicas y herramientas aplicadas dentro del trabajo de investigación?, se responde en el protocolo de investigación en la figura 10, donde indica que técnicas con mayor respaldo por el método AHP son los modelos ARDL y dinámicos para

el desarrollo de la propuesta con análisis de series temporales, además del uso de encuestas y entrevistas para la recolección de datos, esto conlleva al uso de una serie de instrumentos como son los cuestionario y grupos en la recopilación de información, la prueba de raíz unitario en la verificación de hipótesis, el programa Vensim y la simulación de escenarios en relación a la elaboración visual de los resultados obtenidos por el estudio.

1.5. Marco conceptual.

Tabla 16.
Terminología y definición.

N°	Terminología	Definición	Referencia
1	Huella ecológica.	La HE es una herramienta que indica, a nivel global, el déficit o excedente ecológico existente en un área definida, asumiendo que el consumo es homogéneo.	(Huamaní et al., 2024).
2	Modelo.	Un modelo se define como una representación abstracta de un sistema, fenómeno o proceso del mundo real.	(Chen et al., 2025).
3	Ambiente.	Conjunto de elementos naturales y artificiales que interactúan en un espacio determinado.	(Pérez et al., 2015).
4	Ecosistema.	Es la unidad ambiental constituida por componentes biológicos llamados “biocenosis” y componentes no biológicos llamados “biotopo”, que interactúan entre ellos para sostener el flujo energético y los ciclos de materia de manera estructuralmente estructurada y funcionalmente integrada.	(Salgado, 2021).
5	Sostenibilidad.	En términos de la huella ecológica contribuye una herramienta analítica indispensable para comprender algunos de los aspectos fundamentales del comportamiento biofísico de los sistemas económicos.	(Pérez et al., 2015).
6	Biocapacidad.	Se refiere a la capacidad de los entornos naturales para regenerar las superficies terrestres utilizadas por los seres humanos.	(Eufrasio Espinosa et al., 2024).
7	Metodología.	Es el estudio de los procedimientos que permiten alcanzar y adquirir nuevos conocimientos en el ámbito de la investigación.	(Villanueva, 2022).
8	Modelación dinámica.	Es la generación de ambientes para el aprendizaje y el análisis de sistemas dinámicos, donde se pueden simular rutas que simbolizan posibles dinámicas futuras.	(Ramoni & Orlandoni, 2021).
9	Sustentabilidad.	Es el manejo de los recursos y conservación de la diversidad ambiental y cultural de la humanidad.	(García, 2022).
10	ARDL.	Es una metodología que nos permite verificar la existencia de cointegración, destacándose por su solidez en muestras pequeñas, que ofrece estimaciones precisas para el modelo de largo plazo y proporciona estadísticas confiables, incluso cuando hay problemas de endogeneidad.	(Acevedo et al., 2023).
11	Simulación.	Es una herramienta que permite examinar posibles situaciones futuras y comprender cómo algunos factores pueden tener mayor o menor impacto a lo largo del tiempo.	(Durán et al., 2022).
12	Series temporales.	Es un conjunto de observaciones de una variable realizadas a lo largo del tiempo de forma organizada en función de los valores que se han asignado a la variable y al tiempo, permitiendo mostrar en orden cronológico los valores que se han medido.	(Andrade et al., 2023).
13	Dinámica de sistemas.	Es un enfoque que permite analizar gráficamente el objeto de estudio utilizando un lenguaje de números que representan los componentes o variables del sistema, siguiendo no sólo una lógica sino también una secuencia.	(Ramoni & Orlandoni, 2021).

Nota. Elaborado por los autores.

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1. Enfoque de la investigación.

Los enfoques de investigación se han expandido a través del planteamiento de la justificación, de métodos y de razones que sustentan la selección en comparación a posibles opciones, esto implica la clasificación de datos que son por naturaleza cuantitativa que es ocupada de datos numéricos y de estadísticas, los estudios cualitativos están sujetos a la interpretación y observación de resultados subjetivos (Pilcher & Cortazzi, 2024). El método mixto, integra los enfoques cualitativos y cuantitativos, su aplicación conllevó a una comprensión compleja del ámbito de interés para que se profundice los fenómenos y de la oportunidad de la construcción de conceptualizaciones (Borges et al., 2025).

Por lo tanto, se consideró un estudio mixto, debido al protocolo investigativo en la figura 10, que indicó la aplicación de técnicas para la extracción de datos de los dos enfoques, lo que permitió la recolección de números a través del enfoque cuantitativo, de criterios, opiniones por parte del enfoque cualitativo. Por lo tanto, esto conllevó a un enriquecimiento de la información con respaldo, además del uso para la investigación de relaciones causales, de la calidad del diseño, de proyecciones por parte de los análisis y del rigor interpretativo.

2.2. Diseño de la investigación.

El diseño de investigación es distinguido por su integración entre diversos métodos que brindan a los investigadores a la capacidad que ajuste de forma eficiente a las preguntas de investigación, de sus objetivos y en los fundamentos filosóficos (Pilcher & Cortazzi, 2024). Estos se dividen en concurrentes, secuenciales, de conversión y de integración, sin embargo, cada uno conlleva a la mejora mediante la expansión de aspectos prácticos de forma actuales, como la recolección de datos, la formación de estrategias de muestreo y de técnicas que permitan el análisis de los datos obtenidos.

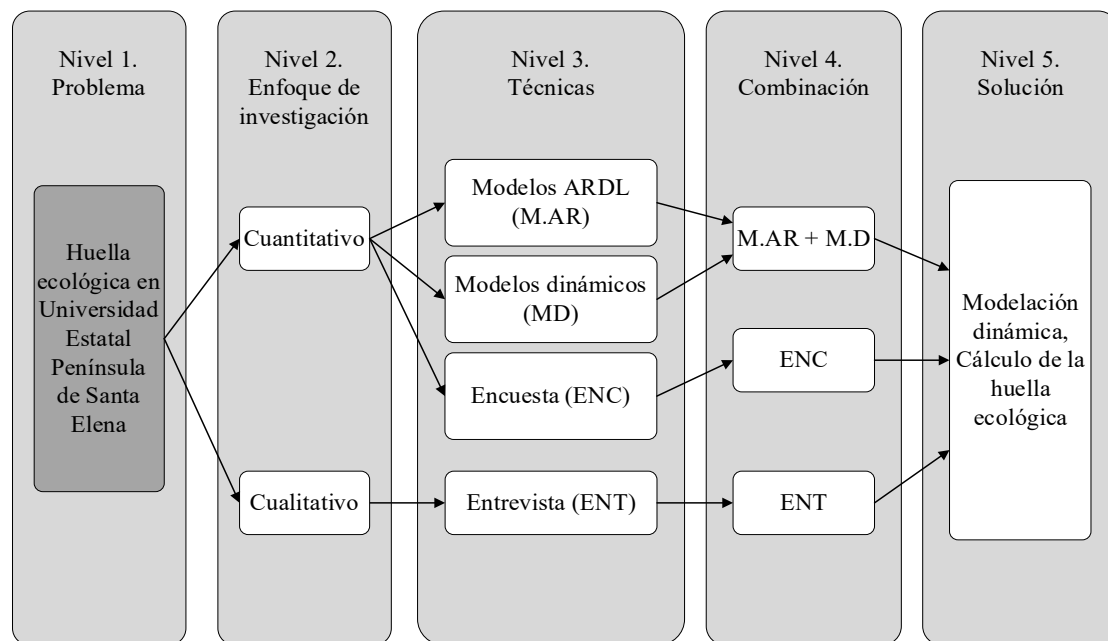
En investigaciones con un diseño secuencial son definidas por su forma de recolección de datos, donde se emplea la recolección de datos cuantitativo o cualitativos para su análisis y se inicie nuevamente la recolección bajo el otro método (Haynes, 2025). La adopción de un estudio explicativo secuencial o en sus términos (DEXPLIS), se inicia por la recolección y análisis de datos cuantitativos seguido de los cualitativos para el apoyo y de la interpretación de la información numérica, estos descubrimientos son integrados para la elaboración del estudio y que se dé prioridad a uno de los enfoques o bien se otorgan el mismo peso, esto tiene

las mismas ventajas y desventajas (Hernández et al., 2018). Al emplear, una forma de muestreo cuantitativo y cualitativo como es DEXPLIS se logró que la recolección de datos se realice de forma más completa con uso de las técnicas y herramientas planteadas (figura 10) y que se alineen al cálculo de la metodología de huella ecológica para su modelación dinámica.

2.3. Protocolo de investigación.

Un protocolo metodológico representa una forma práctica de la examinación del campo en particular, además de presentar un conjunto de pasos utilizado para la recolección de datos, estos mismos son analizados e interpretados y así responder a las preguntas de investigación (Gamage, 2025). Por lo tanto, con respecto al protocolo de investigación (figura 10) del capítulo I, que se estableció la serie de niveles con su ruta seleccionado para el desarrollo del procedimiento metodológico, como se observa en la figura 11.

Figura 11.
Protocolo final de investigación.



Nota. Elaborado por los autores.

De forma adicional, se denominó en el protocolo final de investigación los niveles a seguir en la metodología, esto inició con el nivel 1 (problema de investigación), el nivel 2 (enfoque mixto), nivel 3 (técnicas aplicadas al trabajo investigativo), en el nivel 4 resaltó las combinaciones entre las técnicas cuantitativas y cualitativas, como último, está en el nivel 5 donde se señala como solución a la modelación dinámicas junto al cálculo de la huella ecológica dirigido al lugar de estudio, que son descrito de la siguiente manera:

Nivel 1: esto corresponde al problema investigación detectado que implicó en la búsqueda de los factores internos y externos en base a la huella ecológica en la UPSE, esto llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura (RSL) como finalidad a búsqueda de información y de los resultados de las propuestas, esto conllevó a una selección de 41 artículos seleccionados con una serie de criterios.

Nivel 2: se abordó un enfoque mixto por la combinación de enfoques cuantitativos y cualitativos demostrados en el protocolo general (capítulo I, figura 10), aunque los estudios predominantes son los cuantitativos se estableció una importancia del método cualitativo para una comprensión profunda de los datos recopilados.

Nivel 3: las técnicas que se señalaron son los modelos ARDL, MD y ENC, además la encuesta que permite la cuantificación de los factores ambientales y de la entrevista (ENT) para la recopilación de información subjetivas. Su selección implicó el análisis sistemático mediante un AHP donde se otorgó una calificación con relación a la importancia de cada una de las técnicas, además que la clasificación de instrumentos señaló a la herramienta de cuestionarios (ENT1) que tiene un nivel apto para su aplicación (capítulo I, tabla 15).

Nivel 4: en las combinaciones, las técnicas señaladas son relacionados con otras dentro los artículos establecidos, como es la encuesta (ENC) y los modelos dinámicos (M.D), además son técnicas con una calificación alta por el método AHP (tabla 13). Su aplicación permitió la elaboración del modelo ARDL ser interpretado con el desarrollo del modelo dinámicas de la huella ecológica mediante su respectiva simulación y para la recolección de datos, se obtiene la información cuantificable mediante la encuesta y con la entrevista se registras la opiniones e interpretaciones por el participante.

Nivel 5: como solución, se estableció al cálculo de la huella ecológica que implicó una serie de pasos para un desarrollo efectivo y del análisis de los datos recolección junto a la modelación dinámica para la simulación de series temporales tanto para la situación actual como la propuesta señalada.

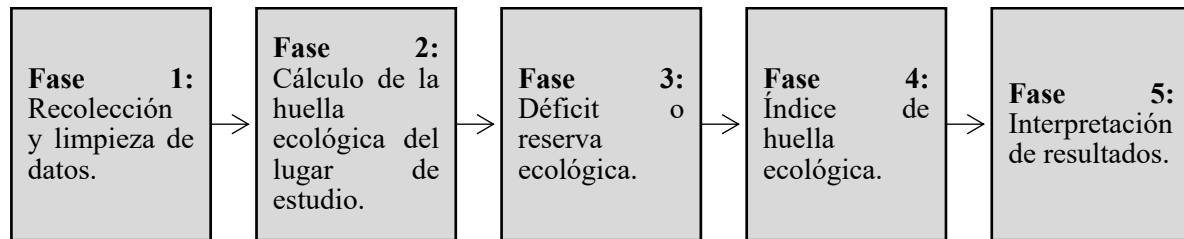
2.3.1. Protocolo del cálculo de huella ecológica.

De forma posterior a la descripción del protocolo final de investigación (PFI), se necesitó de una estructuración específico para el cálculo de la huella ecológica que se definió en base a Vaisi et al., (2021), donde planteó una metodología para esta sección de la solución

dentro de instituciones académicas. Se fundamentó un total de cinco fases tal como se observa en la figura 12.

Figura 12.

Fases de protocolo de cálculo de huella ecológica.



Nota. Elaborado por autor en base al autor Vaisi et al., (2021).

Fase 1.- Recolección y limpieza de datos: implicó la recopilación de datos a partir de los métodos, técnicas e instrumentos planteados que son llevados a un proceso de validación por juicios de criterios de expertos para que se cumpla con el objetivo de la investigación. Los resultados son tabulados de forma secuencial, esto inicia con los cuantitativos seguidos de los cualitativos, además de su confiabilidad que señala la veracidad de los datos obtenidos junto a la verificación de la hipótesis.

Fase 2.- Cálculo de la huella ecológica del lugar de estudio: con relación al total de la huella ecológica (HE_{Total}) es calculado a través de la suma de las distintas ponderaciones con respecto al consumo de los recursos (luz y agua) y de la generación de residuos de forma anual en la UPSE. Además, se señaló los coeficientes constantes para su utilización dentro de la fórmula.

Fase 3.- Déficit o reserva ecológica: con la huella ecológica calculada se indicó el déficit ecológico que contrastó la biocapacidad disponible dentro del área influyente de la institución. Mientras que el remanente ecológico formula a la capacidad que es excedente, es decir, si es mayor la capacidad que la huella, esto para evidenciar una sostenibilidad ambiental.

Fase 4.- Índice de huella ecológica: esto implicó a la diferencia de forma porcentual sobre la capacidad de resiliencia y de la huella ecológica calculada con el número de la muestra poblacional estratificada. Esto permitió a las comparaciones o análisis de series temporales y la detección de puntos críticos.

Fase 5.- Interpretación de resultados: con la finalización del modelo, se presentan los datos indicados a cada fase para su análisis en futuras investigaciones, esto sustentó que la

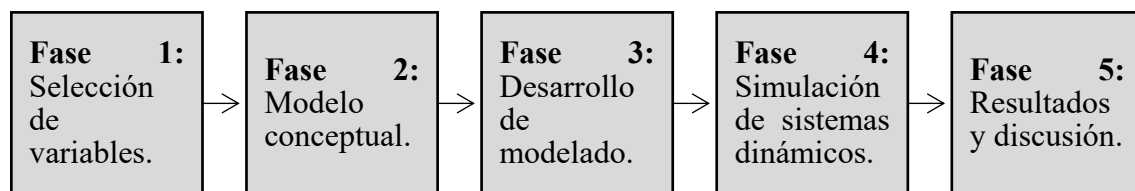
metodología permite una propuesta que reduzca de forma considerable a la huella ecológica en la institución indicada.

2.3.2. Protocolo de modelación dinámica.

Así mismo, se planteó el protocolo para el modelado dinámico, este planteó un conjunto de fases que implican a una correcta elaboración de la modelación dinámica que implica a las técnicas que se tomaron en cuenta como M.AR y M.D con los datos obtenidos en el protocolo de cálculo de huella ecológica (figura 12). Por lo tanto, este procedimiento se acopló teniendo en cuenta las bases teóricas como Villanthenkodath, (2024) y Williams et al., (2022), demostrado en la figura 13.

Figura 13.

Fases de protocolo de modelado dinámico.



Nota. Elaborado por autor en base a Villanthenkodath, (2024) y Williams et al., (2022).

Descripción de fases:

Fase 1.- Selección de variables: se identificó los componentes que son influyentes en la huella ecológica en la institución, obtenidos por el protocolo de la figura 12. Entre las variables consideradas como de entrada que son el consumo energético, uso de agua, generación de residuos, para las salidas se indicó a las emisiones de carbono, residuos no reciclables, la demanda de recursos naturales, el crecimiento estudiantil, entre otros.

Fase 2.- Modelo conceptual: para esta sección, se diseñó un diagrama causal en donde se integró la interrelación de las variables planteadas, es decir, se diseñó de forma gráfica las conexiones de los puntos estudiados en el cálculo de la huella ecológica como son los bucles de retroalimentación, los retrasos temporales y los puntos de apalancamiento.

Fase 3.- Desarrollo de modelado: el modelo conceptual fue transformado con la aplicación de las ecuaciones matemáticas que intervienen como las de flujo que son la tasa de consumo energético, los parámetros calibrados y de pruebas de sensibilidad, estos son combinados y conectados dentro de la estructura de funciones o ecuaciones.

Fase 4.- Simulación de sistemas dinámicos: se realizó la ejecución de escenarios mediante el uso de programas especializados como Vensim, esto implicó la elaboración de tres series temporales que indica el periodo anterior, el actual y el pronosticado como indicar una tendencia optimista con la propuesta de políticas y acciones sostenibles y de un escenario pesimistas donde no se aplican mejoras.

Fase 5.- Resultados y discusión: con los datos obtenidos de las simulaciones y la utilización de indicadores como la huella ecológica per cápita o la brecha entre la biocapacidad y la demanda en la UPSE, además se priorizó acciones que estén relacionados al impacto simulado.

2.4. Población y muestra.

2.4.1. Población.

Para la definición de la muestra, se procedió a la delimitación de la población de estudio que es definido como el conjunto de los casos que cumplen con una serie de las especificaciones planteadas (Hernández et al., 2018). Bajo esta definición, se indicó que la población seleccionada son los estudiantes activos de la UPSE, estos mismos están compuesto en siete facultades en la cuales su población indicada (anexo 2), es de 15,519 estudiantes como se observa en la tabla 18.

Tabla 17.
Población de estudio.

N°	Facultad	N° de estudiantes	%
1	Facultad de Ciencias Administrativas.	2123	13,68%
2	Facultad de Ciencias Agrarias.	1053	6,79%
3	Facultad de Ciencias de la Educación e Idiomas.	4251	27,39%
4	Facultad de Ciencias de la Ingeniería.	1498	9,65%
5	Facultad de Ciencias del Mar.	779	5,02%
6	Facultad de Ciencias Sociales y de la Salud.	4798	30,92%
7	Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones.	1017	6,55%
Total		15519	100%

Nota. Datos obtenidos del reporte de matriculados por facultad (anexo 2).

En la tabla anterior se observó que los estudiantes son distribuidos en siete facultades, donde la facultad con la mayor proporción de alumnos son de Ciencias Sociales y de la Salud con el 30,92 % lo que señala un punto con gran actividad, como segundo están las Ciencias de la Educación e Idiomas con un 27,39 %, mientras que facultades como Sistemas y Telecomunicaciones se sitúa en penúltima lugar por su cantidad de estudiantes matriculados que son el 6,55 % y como último son Ciencias del Mar con el 5,02 %. Esto señala, que existe

una alta densidad de estudiantes dentro de facultades con carreras tradicionales como es educación, enfermería, trabajo social, entre otros. No obstante, facultades del ámbito de ingeniería y tecnología mantienen una baja presencia de estudiantes, pero la frecuencia en el uso de sistemas computacionales tiene mayor presencia que es equivalente a un alto consumo energético.

2.4.2. Muestra.

La muestra se explica que es un subgrupo de los elementos o que es perteneciente a una parte del universo que es la población donde se lleva a cabo la investigación (Hernández et al., 2018). La selección de la muestra por criterio de conveniencia es un tipo de muestreo no probabilístico, es decir, que la selección de los elementos no es de forma aleatoria donde es necesario que los autores establezcan criterios de inclusión o exclusión a partir de su conveniencia (Cid & Méndez, 2011). Por lo tanto, se estableció criterios como solo para selección de estudiantes que estén en la matriz principales de la UPSE, por lo que se excluyen las extensiones ubicadas en la comuna Manglaralto (provincia de Santa Elena) y de Playas (provincia de Guayas) además quienes están bajo la modalidad virtual que depende de la carrera (anexo 2) así limitando el área de estudio como se observa en la tabla 19.

Tabla 18.

Muestra estratificada por criterios de conveniencia (exclusión I).

N°	Facultad	Total de estudiantes	Criterios de exclusión	Diferencia	Total de estudiantes considerados
1	Facultado de Ciencias Administrativas.	2123		610	1513
2	Facultad de Ciencias Agrarias.	1053		450	603
3	Facultad de Ciencias de la Educación e Idiomas.	4251	Estudiantes ubicados en extensiones de la UPSE y en modalidad virtual.	520	3731
4	Facultad de Ciencias de la Ingeniería.	1498		300	1198
5	Facultad de Ciencias del Mar.	779		150	629
6	Facultad de Ciencias Sociales y de la Salud.	4798		560	4238
7	Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones.	1017		350	667
Total		15519			12579

Nota. Elaborado por los autores.

Con base a la tabla anterior, se obtiene un total de 12579 participantes que son distribuidos de las siete facultades, por parte de la información obtenida por la misma institución las Ciencias Agrarias la mayor parte de sus estudiantes se encuentran en las extensiones de la UPSE por lo que su colaboración es reducida a un número menor en comparación a los segmentos con mayor cantidad de alumnos, además, la presencia de una malla curricular híbrida y virtual (anexo 2) puede provocar una exclusión de participantes debido a que sus actividades no se concentran de la campus matriz. Así mismo, se considera de la falta de colaboración y de interés por los involucrados por varios factores que impiden su presencia en este proceso como se observa en la tabla 20.

Tabla 19.
Muestra estratificada por criterios de conveniencia (exclusión II).

Nº	Facultad	Total de estudiantes	Criterios de exclusión	No participantes	Total de estudiantes participantes
1	Facultado de Ciencias Administrativas.	1513		1062	451
2	Facultad de Ciencias Agrarias.	603		496	107
3	Facultad de Ciencias de la Educación e Idiomas.	3731	Falta de interés	3230	501
4	Facultad de Ciencias de la Ingeniería.	1198	participación	1084	114
5	Facultad de Ciencias del Mar.	629	o colaboración por estudiantes.	513	116
6	Facultad de Ciencias Sociales y de la Salud.	4238		3828	410
7	Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones.	667		460	207
Total		12579			1906

Nota. Elaborado por los autores.

Se consiguió una muestra de un total de 1906 estudiantes que participaron para la aplicación de las técnicas junto a sus herramientas en la recolección de datos que implicó el contenido necesario sobre la huella ecológica dentro de la institución determinada y señalando cada una de las interrogantes del cuestionario.

2.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Esta investigación se orientó en una metodología del cálculo de la huella ecológica y de modelación dinámica, que se planteó bajo una metodología mixta en base a los resultados obtenidos en el estado del arte (capítulo I) donde se selección de técnicas necesarias como la

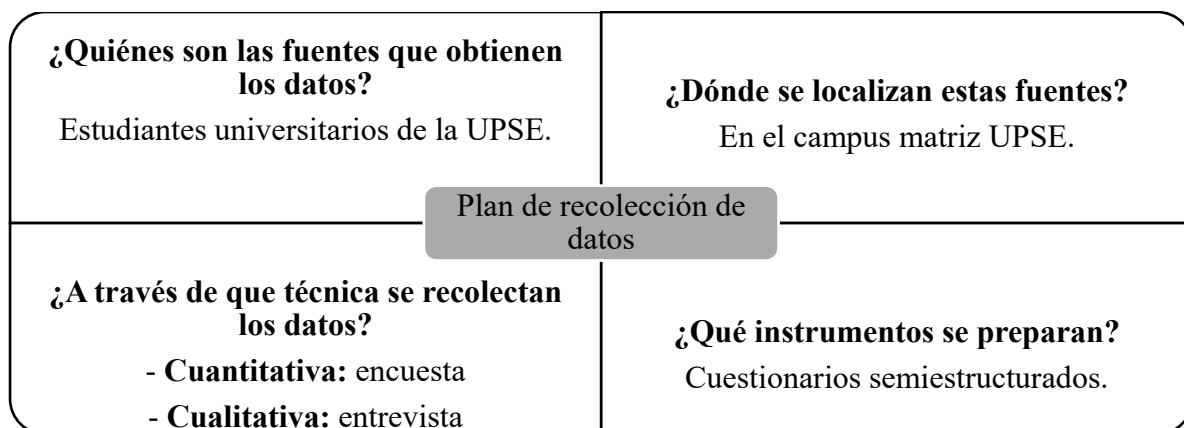
encuesta y entrevista junto a sus herramientas respectivas (tabla 15). Por parte de Lorenzini et al., (2024) indican que, en la combinación de métodos permite la recolección de datos cuantitativos y cualitativos de forma separada que al final sus resultados son analizados mientras se produce la integración.

2.5.1. Métodos de recolección de datos.

Los métodos de recolección de datos son procesos que se triangulan en la obtención de información a partir de diferentes técnicas de recopilación y en el análisis de estos mismos (Kairuz et al., 2024). La investigación plantea un método analítico que busca que descomponen en secciones al objeto de la investigación, esto implica en una descripción profunda y de forma ordenada los datos de cada una de las variables indicadas. Para su elaboración, se adecuó en función a las variables de estudio mediante un plan de recolección de datos que conduzca a reunir la información necesaria como se observa en la figura 14.

Figura 14.

Plan de recolección de datos.



Nota. Elaborado por autor en base a (Hernández et al., 2018).

Se resaltó que la información es obtenida por los estudiantes universitarios de la que se seleccionó en la muestra debido a necesidad de datos de los factores relacionados a la huella ecológica en el campus matriz UPSE que es la localización de esta fuente. Además, las técnicas que se aplicó en base al protocolo de investigación en el nivel 4 que es la encuesta para datos cuantitativos y entrevista para información cualitativa a través de cuestionarios semiestructurados como instrumentos que implicó un formato de interrogantes cerradas para ENC y de preguntas abiertas para ENT. Con el diseño DEXPLIS se obtiene la secuencia de recolección de datos con la finalidad de ser analizados para conocer la situación actual de la HE para su respectiva modelación dinámica.

2.5.2. Técnicas de recolección de datos.

Se definen a las técnicas de recolección de datos que son en referencia a procedimientos que son utilizados dentro de cualquier campo o una disciplina intelectual, estos son empleado de forma sistemática y también son objetivas para la indagación de un objeto de estudio Kirner, (2022). Se consideró que para la recolección y del análisis de los datos observados, extraídos u obtenidos por la muestra establecida en el estudio se dentro del protocolo final (figura 11), donde se indicó la elaboración de una encuesta validada, es decir, que su contenido esté correctamente estructurado y que cumplan con el objetivo planteado, esto mediante la selección de expertos. Con respecto a la entrevista esta fue dirigida a profesionales especializados en el ámbito de la huella ecológica y afines. Con la ejecución de estas técnicas, se generó la información necesaria para el desarrollo del estudio que fue tabulada y analizada para su aporte a la modelación dinámica.

Encuesta: esta técnica a partir de un proceso estandarizado buscar obtener la información de forma oral o escrita por la muestra dirigido a sujetos (Cid & Méndez, 2011). Esta puede ejecutarse de forma directa al participante o por medios digitales para una mayor disposición de información sin estar presente en el lugar de estudio. Para que los resultados sean los esperados, el contenido de la encuesta debe ser clara y concisa, así evitando confusiones por el encuestado.

Entrevista: se necesita que las pautas de esta técnica sean adaptadas en base al entrevistado considerando información del individuo (Kairuz et al., 2024). En el proceso de elección se tuvo en cuenta sus antecedentes, la experiencia profesional sobre el tema de estudio y de su posición laboral. Entonces, para su ejecución, es necesario que la parte involucrada sea comunicada sobre esta actividad y que esté dispuesto ser participe y así indagar sobre su experiencias u opiniones.

2.5.3. Instrumentos de recolección de datos.

Dentro de los trabajos de investigación se dispone de un conjunto de instrumentos que permitan la medición ya sea de una o más variables que son de interés (Hernández et al., 2018). Esto se realiza por cuestionarios semiestructurados para la encuesta y la entrevista mediante una serie de interrogantes adaptadas a la técnica para su recolección de datos cuantitativa y cualitativa en donde se induzca a la respuesta y que esté adecuado al público dirigido (Cid & Méndez, 2011). En base a estos contextos, se elaboró un cuestionario de preguntas cerradas

con relación a las variables de estudio para los encuestados involucrados y para los entrevistados, se estableció preguntas abiertas para la extensión de la respuesta de los sujetos con la finalidad de hallar pistas de reflexión o ideas en base al trabajo de estudio.

Cuestionario (encuesta): este conllevó un formato de preguntas cerradas sin la utilización de tecnicismo que provoquen confusión a los colaboradores. Por lo tanto, tiene como contenido a una serie de 21 preguntas con una escala de intervalo, estas mismas deben ser validadas por un grupo de expertos seleccionados por criterios de inclusión y exclusión. Como resultado, la información es analizada para el sustento de un planteamiento de metodología de cálculo de huella ecológica que establezca su índice respectivo (anexo 3).

Cuestionario (entrevista): la elaboración de este instrumento implica en una serie de interrogantes abiertas para que abarque todos los aspectos necesarios y de hechos relevantes. Su elaboración está ligado a un total de 10 preguntas con relación al conocimiento de las variables de estudio y su planteamiento permite cumplir las condiciones a la accesibilidad de dicha información. Y así obtener las percepciones, opiniones y criterios de los entrevistados sobre la huella ecológica actual en la institución y de su modelación dinámica.

2.5.4. Confiabilidad.

Para la confiabilidad que se relaciona con la coherencia de los resultados obtenidos por la ejecución de un instrumento, es decir, que tiene la capacidad de elaborar mediciones estables y que sean reproducibles a largo tiempo (Sugiarta et al., 2023). El uso de alfa de Cronbach que es definida como una medida de la consistencia interna de las pruebas y de su fuerza de interrelación (Edelsbrunner et al., 2025). En síntesis, con el valor calculado, permite verificar si los resultados obtienen un alfa alto se refleja una confiabilidad alta y así mismo si la conexión es baja es equivalente al rechazo o de la mejora de los datos con respecto a los rangos establecido en la tabla 21.

Tabla 20.

Rangos de confiabilidad - Alfa de Cronbach.

Rango	Nivel de fiabilidad
Más de 0,90.	Excelente.
0,80 – 0,89.	Bueno.
0,70 – 0,79.	Aceptable.
0,60 – 0,69.	Cuestionable.
0,50 – 0,59.	Pobre.
Menor de 0,49.	Inaceptable.

Nota. Valores obtenidos por la publicación de Arof et al., (2018).

Con estos rangos establecidos, se evalúa los resultados obtenidos de la técnica de recolección de datos cuantitativa que es de la encuesta aplicada de 1906 estudiantes de la UPSE con la respectiva utilización del cuestionario de 21 preguntas cerradas validadas sobre las variables de estudios con una escala de intervalo y de la utilización de programas como IBS SPSS 25 para la tabulación de los datos y cálculo de alfa de Cronbach con la fórmula:

$$\alpha = \frac{k}{k - 1} * \left(1 - \frac{\sum_1^k S_i^2}{S_x^2} \right) \quad (\text{ec.3})$$

Donde:

α = Alfa de Cronbach.

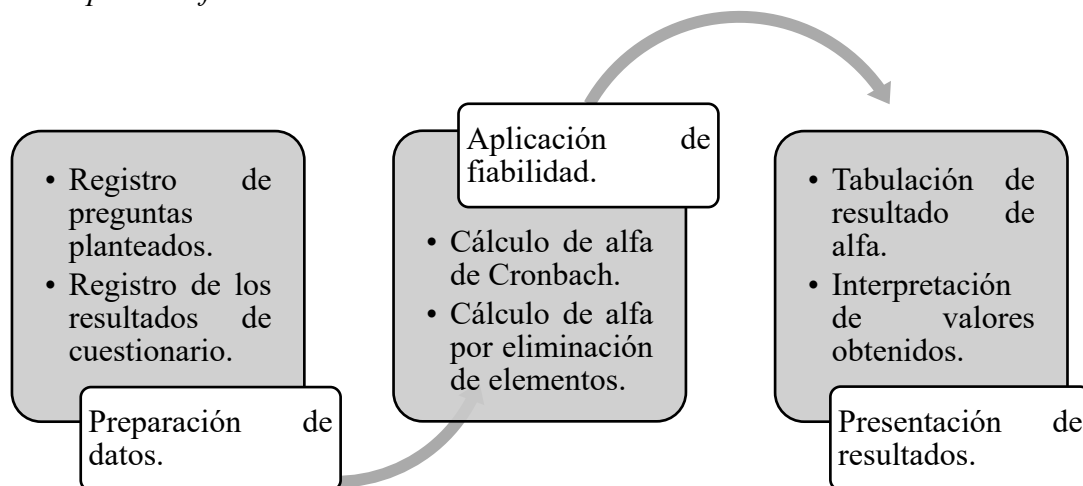
k = Número de ítems del cuestionario.

S_i^2 = Sumatoria de varianzas de los ítems.

S_x^2 = Sumatoria total del instrumento.

Para la elaboración de la confiabilidad con alfa de Cronbach dentro del estudio de investigación, se necesitó de un procedimiento basado de Edelsbrunner et al., (2025) que resaltó los pasos a seguir como se demuestra en la figura 15, que en su contenido se conforma de 3 fases que son: I) preparación de datos, II) la aplicación de la fiabilidad de los datos y III) presentación de los resultados obtenidos.

Figura 15.
Protocolo para confiabilidad de resultados.



Nota. Elaborado por los autores en Edelsbrunner et al., (2025).

Cada de estos puntos, permitió que se realice de forma correcta el proceso de confiabilidad desde su registro en el programa SPSS del contenido de las preguntas y de sus resultados, así mismo, con el cálculo de alfa de Cronbach se buscó el desarrollo de este mismo

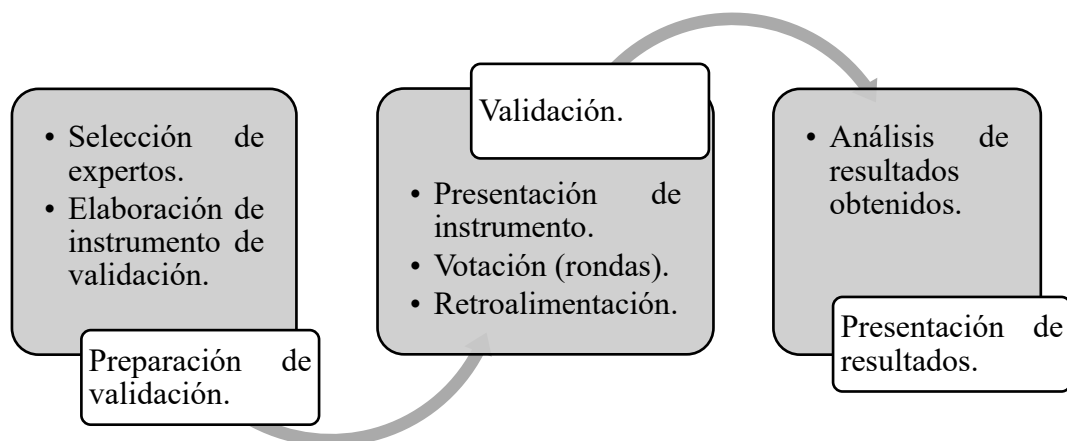
proceso pero con la eliminación de cada elementos para verificar si el valor de Alfa se mantiene en el rango de aceptación y que sean tabulados para su demostración de que el cuestionario ejecutado es consistente, es decir, que es aceptado para el trabajo de investigación.

2.5.5. Validez.

La validez de un instrumento se refiere a su capacidad que tiene para medir de manera correcta en base al concepto que se busca evaluar, esto asegura que los indicadores seleccionados sean adecuados para la variable de estudio (Sugiarta et al., 2023). Se resalta a la validación de criterio por expertos que plantea la comparación de resultados sobre el grado que busca el instrumento en medir la variable de cuestión lo que sugiere seleccionar “voces calificadas” (Hernández et al., 2018). Por lo tanto, se señaló un proceso de validación de por expertos en base a criterios de inclusión o exclusión, con la debida solicitud y aprobación del participante se inició la votación mediante rondas para su aceptación. Así se cumplió este proceso con base al autor Khidhir & Rassul, (2023) para que la ejecución de la recolección de datos se forma correcta con ítems calificados como aceptable y que cumplan con el objetivo de la investigación, estos pasos se agrupan en el protocolo de validación como se observa en la figura 16.

Figura 16.

Protocolo de validación de criterio de expertos.



Nota. Elaborado por los autores en base a Khidhir & Rassul, (2023).

Como parte adicional, se desarrolló un proceso de validación que inició con la selección de expertos, aplicando criterios de inclusión como una experiencia profesional mayor a 20 años, conocimiento sobre al menos una variable del estudio y experiencia en redacción de artículos científicos. Se excluyeron profesionales ajenos al campo de estudio. Para la validación se elaboró un formato con criterios de evaluación que relacionan variable, dimensión, indicador, ítems y respuestas (anexo 3). Tras la aceptación de los participantes, se realizaron

rondas de evaluación donde los expertos calificaron cada ítem. Si se requería ajuste, se repetía la validación hasta su aceptación.

2.6. Procedimiento para la recolección de datos.

Para la planificación del proceso de recolección de datos se inició con la búsqueda de la literatura donde se determinó las herramientas necesarias con relación a las variables de estudio (Evans & Xu, 2023). A partir de lo señalado en la metodología se planteó los planes que son: validación de instrumento, recopilación de información y la presentación de datos. Para un desarrollo de las actuaciones necesarias de cada plan y conseguir de manera eficiente los resultados necesarios, esto se observa en la tabla 22.

Tabla 21.

Plan de recolección de datos.

N°	Plan	Actuaciones
1	Validación de instrumento.	1. Elaboración de encuestas semiestructuradas. 2. Validación por criterio de juicios de expertos. 3. Retroalimentación.
2	Recopilación de información.	1. Ejecución de encuesta a estudiantes de la UPSE. 2. Entrevista a profesionales especializados. 3. Análisis de resultados recolectados.
3	Presentación de datos.	1. Cálculo de fiabilidad de los datos. 2. Tabulación de resultados mediante diagramas. 3. Análisis e interpretación.

Nota. Elaborado por los autores.

La validación del instrumento se vincula con la figura 16, destacando la importancia de cumplir los criterios de evaluación y realizar los reajustes necesarios según el juicio de los expertos seleccionados. La recolección de información se dirigió a estudiantes de la UPSE, quienes conformaron la muestra determinada (tabla 22) para obtener datos cuantificables sobre la huella ecológica. Para las entrevistas, se eligieron dos profesionales con experiencia en el tema, cuyas opiniones fueron analizadas de forma secuencial siguiendo el diseño DEXPLIS. Finalmente, la presentación de los datos, como forma de visualizar los resultados, se procesó en SPSS para calcular la fiabilidad y analizar la consistencia de cada ítem.

2.7. Operacionalización de variables.

El desarrollo de la operacionalización de las variables es una forma de que la variable sea verificable y medible con relación a sus ítems (Hernández et al., 2018). Se estableció para cada variable sus respectivos ítems de su respectiva técnica (anexo 6), además de su dimensión, indicador y de su escala.

2.8. Plan de análisis e interpretación de datos.

Para la elaboración de un plan de análisis e interpretación de resultados es una estrategia estructurada que define cómo se procesan los datos recopilados en cada uno de los objetivos específicos en una investigación para extraer los resultados esperados como se observa en la tabla 23.

Tabla 22.

Plan de análisis e interpretación de resultados.

Nº	Objetivos específicos	Procedimiento	Instrumentos	Resultados esperados
1	Plantear un estado de arte mediante un análisis sistemático respalde el cálculo de la huella ecológica para el análisis del impacto en el entorno universitario establecido.	Revisión sistemática. Selección de registros.	Directrices PRISMA. VosViewer. Proceso analítico jerárquico (AHP).	Selección de estudios con relación a las variables de estudio. Interrelaciones entre países y revistas. Sustento de técnicas y herramientas para su aplicación.
2	Establecer un marco metodológico por medio de procedimientos el cálculo de la huella ecológica en las universidades y el comportamiento de los factores aplicando modelación dinámica de sistemas.	Protocolo de investigación. Protocolo de validación y confiabilidad. Plan de recolección de datos.	de Muestra estratificada. Formato de cuestionarios para técnicas. Validación de criterios por juicio de expertos.	Elaboración de pasos de protocolos por soluciones planteadas. Elaboración de ítems o preguntas para la obtención de información. Validación y consistencia de instrumentos de recolección.
3	Calcular la huella ecológica de la UPSE por medio de la modelación dinámica para la visualización del comportamiento de los factores en periodos de tiempo.	Desarrollo de recopilación de datos. Verificación de hipótesis. Desarrollo de modelo.	de Google Form. Prueba de normalidad. Simulación dinámica.	Presentación de datos recolectados en plataforma. Verificación de los datos de la encuesta mediante alfa y normalidad. Elaboración de simulación de escenarios.

Nota. Elaborado por los autores.

Se realizó una revisión sistemática bajo las directrices PRISMA para identificar estudios relevantes sobre el cálculo de huella ecológica en entornos universitarios. Esto mediante herramientas como VosViewer, se analizaron las interrelaciones entre países y revistas científica, además del análisis de datos y coocurrencia, lo que permitió identificar vacíos en la literatura y priorizar técnicas mediante el proceso analítico jerárquico (AHP). Como resultado, se seleccionaron investigaciones que sustenten las variables de estudio proporcionando un marco teórico para el desarrollo de la metodología en la UPSE.

Se estableció un protocolo de investigación basado de los resultados del marco teórico y con una muestra estratificada por facultades, garantizando representatividad en la recolección de datos. Los instrumentos que son los cuestionarios fueron validados mediante juicio de expertos, asegurando su confiabilidad y consistencia interna ($\alpha > 0.7$). Además, se diseñó un plan de recolección que integró registros institucionales y encuestas, estandarizando los criterios para el cálculo de la huella ecológica y su modelación dinámica.

Se recopilaron datos cuantitativos mediante Google Forms por parte de los estudiantes, los cuales fueron depurados y sometidos a pruebas de normalidad (Shapiro – Wilk) para verificar su distribución. Posteriormente, se desarrolló un modelo de simulación dinámica con utilización de Vensim que proyectó escenarios de series de tiempo, evaluando el impacto de variables como el consumo energético y la generación de residuos. Esto permitió que los resultados evidencien patrones críticos, como la relación entre el crecimiento poblacional estudiantil y el aumento de la huella ecológica, proporcionando insumos para políticas de sostenibilidad institucional.

2.9. Recapitulación del capítulo II.

Se planteó un enfoque mixto con un diseño secuencias explicativo (DEXPLIS) y con la selección de la ruta del protocolo de investigación (figura 10), donde se indicó las técnicas, de sus combinaciones y las soluciones. Como muestra se seleccionó un total de 1906 estudiantes de la UPSE que fue dirigida la encuesta como técnica de recolección de datos cuantitativa y de la selección de profesionales para la entrevista. Estas dos técnicas utilizaron cuestionario que fueron validados por criterio de juicio de expertos y evaluada la consistencia de sus ítems por el alfa de Cronbach, además se resaltó los aspectos éticos a conocer en la ejecución de la recopilación de datos.

CAPÍTULO III

3.1. Marco de resultados.

En esta sección se integran las técnicas y herramientas definidas con anticipación en el trabajo de investigación a través de los protocolos planteados en la ejecución del plan de recolección de datos que implica a la validación del instrumentos por criterios de expertos y de su respectiva prueba de confiabilidad que demuestre la consistencia de los resultados obtenidos sobre la huella ecológica dentro de la UPSE generada por parte de los estudiantes de los distintas facultades y de cómo sus actividades tiene un impacto. Esto permite el sustento del estudio que demuestra la necesidad de una metodología que permita medir este indicador de forma detallada y con una precisión cercana a la realidad con la modelación dinámica de estos factores se simule la situación actual y de escenarios con la aplicación de propuestas de mejora dentro de la institución.

3.1.1. Validación del instrumento de recolección de datos.

Paso 1: Preparación de validación.

Se inicia con la selección de los expertos que participan en la validación del instrumento para la recolección de datos cuantitativo que es dirigida a los estudiantes del campus matriz UPSE, por lo tanto, son escogidos mediante el planteamiento de criterios de inclusión y exclusión para que la evaluación sea completada considerando el conocimiento o experiencia sobre el tema de investigación y de la correcta estructuración del contenido como se observa en la tabla 24.

Tabla 23.

Criterios de inclusión y exclusión de expertos.

Inclusión	Exclusión
<ul style="list-style-type: none">• Profesionales con título de cuarto nivel o superior.• Conocimiento sobre las variables de estudio.• Profesional con actividades dentro de la institución.• Experiencia en el área de gestión ambiental o afines.	<ul style="list-style-type: none">• Profesionales de otros campos fuera de la ingeniería.• Personal técnico o administrativo de la institución.• Profesionales con menos de 20 años de experiencia.• Estudiantes de grado y posgrado.

Nota. Elaborado por los autores.

Como se indica en la tabla anterior, se establecen una serie de criterios de inclusión donde se busca a profesionales que estén involucrado con la UPSE, además, que tengan conocimiento sobre el tema de investigación para que la evaluación puedan otorgar modificaciones o ajustes en base a su experiencia sobre la gestión ambiental y así se estructure un instrumento que cumpla con los objetivos de la investigación. Por otro lado, se indica un grupo de criterios de exclusión que señala puntos como que se busque solo expertos que estén involucrado a la ingeniería y que no tengan puestos técnicos o administrativos dentro de la institución, es necesario que el participe tenga experiencias profesionales mayor a 20 años y se hace énfasis que no se considera a estudiantes que mantengan estudios de grado o posgrado. Como adicional, con la finalización de la selección, se construye un instrumento para la validación que involucra criterios sobre la relación entre la variable, indicadores, los ítems y de la escala de respuesta establecido (anexo 4).

Paso 2: Validación.

La participación de los expertos conlleva a la evaluación del instrumentos sobre cuatro criterios puntuales que indican la relación entre la variable y la dimensión (C1), la dimensión con el indicador (C2), el indicador con el ítem (C3) y el ítems con su escala de respuesta (C4), esto tiene como finalidad si cada elementos dentro del cuestionario esta correctamente vinculado, caso contrario necesite de ajustes para una mejor estructura, con lo indicado se ejecuta el proceso de validación donde cada profesional como se observa en la tabla 25.

Tabla 24.
Calificaciones de evaluación.

Experto	Criterios de evaluación							
	C1		C2		C3		C4	
	(5 puntos)		(10 puntos)		(21 puntos)		(21 puntos)	
	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
E1	5		10		18	3	21	
E2	5		10		21		21	
E3	5		10		19	2	21	
E4	5		10		19	2	21	

Nota. Elaborado por los autores.

Se consigue que cada experto dio su respectiva calificación en el instrumento donde se indica la sumatoria de las respuestas de cada criterio donde se señala con un si dando una afirmación o aceptación en la sección o no, como la necesidad de una modificación de los elementos señalados. Como resultados, se obtiene que todos los participantes afirman que las dimensiones van acorde a la variable de estudio (huella ecológica), así mismo que los indicadores planteados tienen relación con su dimensión involucrada lo que se identifica por una calificación máxima. Para el tercer criterio que es acerca de la relación entre el ítem y el indicador hay calificaciones variadas donde se hace énfasis a E1 que señala que hay 3 preguntas que deben ser estructuradas de otra forma para una mejor comprensión y E3 y E4 sugieren lo mismo, pero solo a 2 interrogantes, por lo cual se realiza el respectivo ajuste para una siguiente ronda. Para el último criterio, es resultado de la relación entre los ítems y su respuesta, donde todos los colaboradores han dado un juicio de afirmación, es decir, que la pregunta esta correctamente estructurada a la escala definida.

Paso 3: Análisis de resultados.

Con la finalización de la validación del instrumento, se elabora un formato donde el experto valoriza de forma general el cuestionario (anexo 7), además se indica la cantidad de rondas que se necesitó para su respectiva aceptación para su ejecución en la encuesta dirigida a los estudiantes de la UPSE, como resultado se consigue la valoración como se observa en la tabla 26.

Tabla 25.
Valoración de expertos.

Experto	Rondas	Valoración
E1	2	Bueno.
E2	1	Bueno.
E3	2	Bueno.
E4	2	Bueno.

Nota. Elaborado por los autores.

Con relación a la tabla anterior, se demuestra que los expertos han valorado al contenido del cuestionario como bueno, esto implica un sustento que la validación se realizó de una manera correcta y que puede ser ejecutada por los autores para la recolección de datos necesarios para la metodología del cálculo de la huella ecológica y de su modelación dinámica para la UPSE.

3.1.2. Fase 1.- Recolección y limpieza de datos.

Con la ejecución de la encuesta, se realiza el cuestionario en la plataforma de Google Forms que es enviada a los estudiantes del campus matriz de la UPSE mediante el apoyo del área administrativa de la institución, por este proceso se obtiene las 1906 respuestas de los encuestados que están dispersos por facultades, estos resultados son agrupados tal como se observa en la tabla 27.

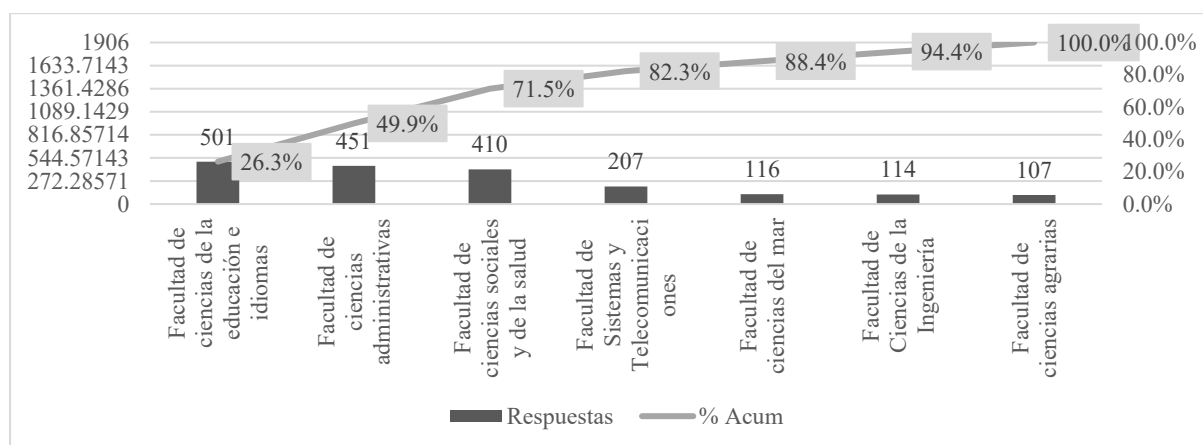
Tabla 26.
Facultad de encuestados.

Facultad	Frecuencia	%
Facultad de Ciencias Administrativas.	451	23.7%
Facultad de Ciencias Agrarias.	107	5.6%
Facultad de Ciencias de la Educación e Idiomas.	501	26.3%
Facultad de Ciencias de la Ingeniería.	114	6.0%
Facultad de Ciencias del Mar.	116	6.1%
Facultad de Ciencias Sociales y de la Salud.	410	21.5%
Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones.	207	10.9%
Total	1906	100.0%

Nota. Elaborado por los autores.

Se distribuyen las respuestas por la facultad del estudiante según su respuesta, lo que señala que hay una mayor participación de los alumnos de la facultad de ciencias de la educación e idiomas con un total de 501 respuestas, mientras que ciencias de la ingeniería y del mar tienen una menor participación con un valor entre 116 y 114. Por otro lado, la facultad de ciencias agrarias es quien tiene una baja frecuencia debido a instancia en el campus matriz es mínima. Se realiza un diagrama de Pareto de los resultados como se observa en la figura 17.

Figura 17.
Resultados de respuestas por facultades.



Nota. Elaborado por los autores.

En el diagrama de Pareto se observa que las facultades de ciencias de la educación e idiomas, administrativas, sociales y de la salud contienen el 80 % de las respuestas a la encuesta, esto equivale a una mayor cantidad de estudiantes en comparación a facultades con carreras de ingeniería dentro del campus matriz, lo que conlleva a una mayor utilización de recursos que tengan un impacto a la huella ecológica dentro de la institución. Con esto detallado, se tabulan los resultados de las 21 preguntas cerradas con una escala de intervalo para el desarrollo de su análisis e interpretación de los datos obtenidos (anexo 3).

Análisis e interpretación de resultados de encuesta.

La encuesta aplicada a los estudiantes de la UPSE permitió obtener una visión integral sobre sus prácticas y percepciones en relación con el uso eficiente de recursos y la gestión ambiental dentro del campus. Los resultados reflejan un comportamiento mayormente positivo hacia acciones que contribuyen a la reducción de la huella ecológica, aunque también evidencian áreas donde es necesario reforzar la educación ambiental y la promoción de hábitos sostenibles (anexo 8).

En cuanto al uso responsable de la energía, un alto porcentaje de estudiantes (87.7 %) manifiesta apagar las luces en aulas y pasillos cuando no son necesarias, lo cual es un indicativo claro de conciencia en el ahorro energético y su impacto en la huella ecológica institucional. Este comportamiento se complementa con la desconexión de cargadores en un 92.9 % de los casos, lo que disminuye el consumo energético innecesario, aunque se detecta que una minoría aún mantiene el hábito de dejar dispositivos conectados, posiblemente por desconocimiento o falta de hábito. Sin embargo, el uso eficiente de dispositivos electrónicos como computadoras e impresoras presenta un escenario mixto, pues solo un 57 % aplica modos de ahorro energético, mientras que cerca del 30 % no los utiliza o desconoce estas opciones, lo cual representa una oportunidad clara para campañas de sensibilización y capacitación técnica, especialmente considerando que muchas carreras requieren de uso intensivo de equipos.

Los hábitos relacionados con la gestión de residuos indican un compromiso considerable con la separación y reciclaje: el 61.5 % reporta separar los residuos reciclables, mientras que un 87.7 % reutiliza materiales como hojas y envases. No obstante, existe un porcentaje significativo que no practica estas acciones de forma habitual o no muestra interés en ellas, lo que podría afectar negativamente la reducción de residuos y la huella ecológica. La evitación de plásticos desechables y la preferencia por botellas reutilizables también son destacables, con cifras superiores al 74 % y 78 %, respectivamente, indicando que los

estudiantes han adoptado medidas para disminuir la generación de residuos plásticos dentro del campus.

Respecto a la movilidad sostenible, la mayoría de los estudiantes (87 %) utiliza transporte público, bicicleta o camina para llegar a la universidad, contribuyendo a la reducción de emisiones de carbono relacionadas con el transporte privado. Aunque solo el 35.6 % practica el carpooling o comparte vehículo en ocasiones, la disposición hacia modalidades sostenibles es evidente. La percepción sobre el estado del transporte institucional es variada, con un 43.1 % que reconoce un mantenimiento adecuado, pero un 35.3 % que señala deficiencias que pueden provocar emisiones adicionales, lo que sugiere la necesidad de mejorar las condiciones de los vehículos para optimizar su eficiencia ambiental.

En el uso y cuidado del agua, los resultados son altamente positivos: un 97 % de los estudiantes cierra correctamente los grifos y el 66.4 % reporta fugas al personal encargado, lo que refleja una cultura de cuidado del recurso hídrico. La reutilización del agua residual para riego u otros fines es práctica común en un 71.4 %, fortaleciendo la sustentabilidad hídrica del campus. Sin embargo, un 34.6 % reconoce consumir agua potable de manera mayor a lo moderado, lo que abre espacio para campañas orientadas a la moderación del consumo. La conciencia ambiental y el conocimiento sobre la huella ecológica están presentes en un 66.7 % de los estudiantes, aunque persiste un 18.9 % que no conoce o tiene conceptos erróneos, señalando la necesidad de educación ambiental más intensiva e inclusiva. En consecuencia, el 57.5 % reconoce que sus actividades diarias contribuyen al aumento de la huella ecológica, pero un 24.6 % aún no identifica claramente esta relación, lo que representa un desafío para fortalecer la responsabilidad ambiental individual y colectiva.

Finalmente, la disposición para participar en campañas de reciclaje, reforestación y uso eficiente de recursos es favorable, con porcentajes cercanos al 60-80 %, lo que abre una ventana para fortalecer programas institucionales que involucren activamente a la comunidad estudiantil. La amplia aceptación sobre la necesidad de monitorear la huella ecológica institucional (86.9 %) indica un interés genuino por impulsar la gestión ambiental en la universidad, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) 12 y 13.

3.1.3. Confiabilidad del instrumento de recolección de datos.

Paso 1.- Preparación de datos.

Con los resultados obtenidos de la encuesta en la tabla 28, con relación a la variable independiente (huella ecológica), estos son procesados con el uso del programa especializado

IBM SPSS Statistic donde se registran las respuestas obtenidas del cuestionario, de forma que se presenta un total de 1906 casos que son los encuestados que participaron en la recolección de datos y sin la exclusión de preguntas debido por mantener un nivel de relevancia en el estudio, para que así obtener los distintos análisis estadístico (anexo 9).

Tabla 27.
Procesamiento de respuesta de instrumento.

		N	%
Casos	Válido.	1906	100,0
	Excluido.	0	,0
	Total.	1906	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Nota. Elaborado por los autores mediante SPSS-25.

Paso 2: Aplicación de la fiabilidad.

Se comprende que estos datos, son las respuestas de las 21 preguntas del cuestionario validado anteriormente que implica una escala de intervalo (si, no estoy seguro, no) como se observa en la tabla 29. Con el registro de estas respuestas, se ejecuta el cálculo del alfa de Cronbach para la medición de la consistencia interna y considerando los criterios de cada rango (tabla 22) para así sustentar la aceptación del instrumento cuantitativo.

Tabla 28.
Cálculo de alfa de Cronbach.

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,811	21

Nota. Elaborado por los autores mediante SPSS-25.

Como resultado, se obtiene el valor 0.811 que entra en la escala de 0.80 a 0.89 que es considera como “bueno”, lo que quiere decir es que su consistencia interna es alta, por lo cual, se demuestra que el cuestionario mide de forma coherente el constructo sobre la variable “huella ecológica” en la UPSE, además, esto evidencia una sólida fiabilidad mediante respuestas estables y que las dimensiones están alineadas al estudio y puede ser considerados como base en la elaboración del modelo dinámico.

Con respecto al alfa de Cronbach si el elemento es suprimido de define como un indicador que otorga una evaluación del cambio de la fiabilidad interna del instrumento si se descarta una pregunta en específico como se observa en la tabla 30. Por lo tanto, con el valor generado de alfa por SPSS (0.811), se excluye cada ítem para la identificación de preguntas que afecten a la consistencia (anexo 9).

Tabla 29.
Estadísticos por elementos suprimido.

	Media de escala si el elemento se ha suprimido	Varianza de escala si el elemento se ha suprimido	Correlación total de elementos corregida	Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido
P1	29,52	45,959	,287	,807
P2	29,58	46,611	,232	,809
P3	28,96	42,624	,409	,801
P4	29,53	46,209	,256	,808
P5	29,08	42,514	,459	,798
P6	29,23	43,329	,410	,801
P7	29,28	43,802	,391	,802
P8	29,37	44,374	,381	,802
P9	29,46	46,232	,183	,811
P10	28,52	41,945	,451	,798
P11	28,77	42,441	,434	,799
P12	29,31	44,591	,328	,805
P13	29,65	47,284	,232	,809
P14	29,20	42,698	,498	,796
P15	28,93	41,230	,509	,794
P16	29,21	42,189	,513	,795
P17	29,17	43,430	,398	,801
P18	29,09	44,022	,350	,804
P19	29,06	43,479	,376	,803
P20	29,45	45,878	,250	,808
P21	29,53	46,193	,301	,807

Nota. Elaborado por los autores mediante SPSS-25.

Los datos demuestran que el alfa global tiene una fiabilidad alta ya que es superior a 0.7 que indica un cuestionario que los constructos están relacionado con la huella ecológica, donde se justifica que P5, P14 y P15 presentan correlaciones altas, esto confirma que son preguntas claves y P2 y P9 provocan un aumento en el coeficiente sin embargo, su reducción no es significativa ya que se mantienen en el rango de aceptación, es decir, que la conservación de la estructura actual es excelente y sustentan datos verídicos que aporten al trabajo de investigación.

Prueba de normalidad.

Son herramientas estadísticas que se utilizan para la evaluación de un conjunto de datos si sigue una distribución normal, como pruebas no paramétricas se destaca la de Kolmogorov – Smirnov (K-S) que compara la distribución acumulativa de grandes muestras y la de Shapiro. – Wilk (S-W) que analiza la correlación entre valores y es eficiente en muestras pequeñas o medianas (Khidhir & Rassul, 2023).

Por lo tanto, con el uso de SPSS se realizan los cálculos respectivos para cada una de las dimensiones de la variable independiente (huella ecológica) donde interviene los resultados de la encuesta como se observa en la tabla 31.

Tabla 30.

Prueba de normalidad no paramétrica.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
D1	,278	1906	,000	,790	1906	,000
D2	,217	1906	,000	,838	1906	,000
D3	,159	1906	,000	,924	1906	,000
D4	,243	1906	,000	,837	1906	,000
D5	,160	1906	,000	,891	1906	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

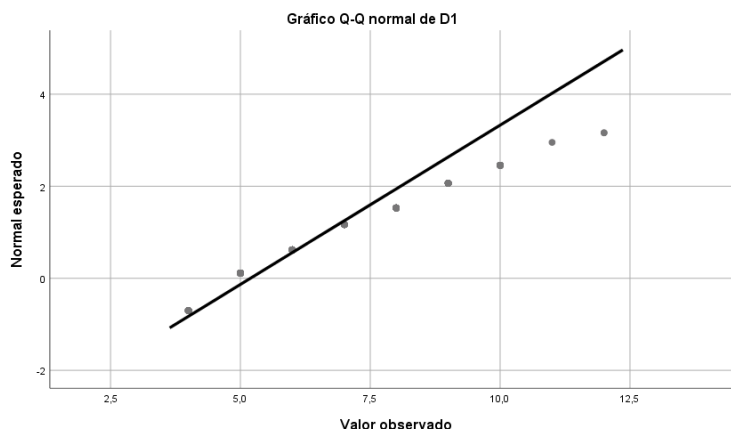
Nota. Elaborado por los autores mediante SPSS-25.

- **Descripción de estadísticos por dimensión.**

Dimensión 1 (conocimiento básico sobre huella ecológica): los resultados de las pruebas Kolmogorov-Smirnov (K-S) y Shapiro-Wilk (S-W) mostraron valores estadísticamente significativos ($p < 0.001$), rechazando la normalidad. Esto indica que las respuestas en esta dimensión no siguen una distribución normal, posiblemente debido a la alta concentración de respuestas afirmativas (ej.: 88 % en P1 y P4) frente a una minoría de respuestas negativas o inseguras. La asimetría (figura 18), sugiere que los estudiantes tienen hábitos establecidos en el uso eficiente de energía, pero con poca variabilidad en sus comportamientos.

Figura 18.

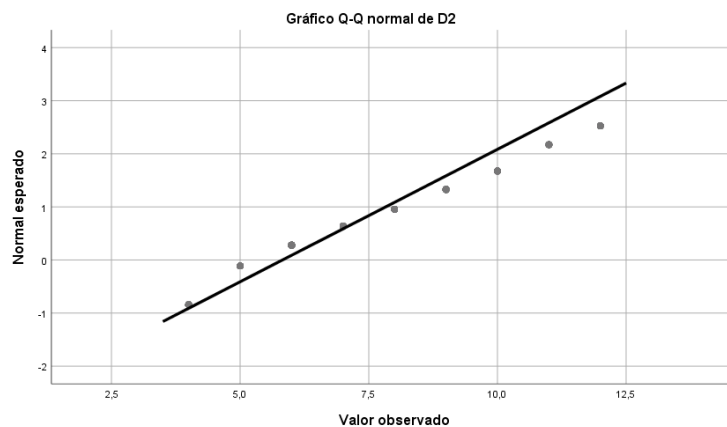
Diagrama Q-Q - Dimensión 1.



Nota: Elaborado por los autores mediante SPSS-25.

Dimensión 2 (gestión de residuos): ambas pruebas (K-S: 0.217; S-W: 0.838) confirmaron una distribución no normal (*p = 0.000*). La polarización en respuestas es evidente: mientras P6 (reutilización) tuvo un 88% de "sí", P5 (separación de residuos) presentó mayor dispersión (62% "sí"). Esto refleja (figura 19) que, aunque los estudiantes reutilizan materiales, la separación de residuos aún no es una práctica consolidada, lo que explica la falta de normalidad en los datos.

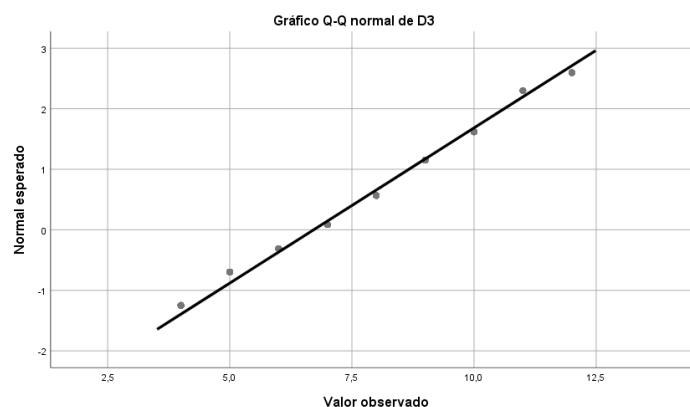
Figura 19.
Diagrama Q-Q - Dimensión 2.



Nota. Elaborado por los autores mediante SPSS-25.

Dimensión 3 (movilidad Sostenible): Aunque esta dimensión mostró el menor estadístico K-S (0.159), sigue siendo no normal (*p = 0.000*). La pregunta P9 (transporte sostenible) tuvo un 87% de respuestas positivas, pero P10 (compartir auto) mostró división (36% "sí" vs. 53% "no"), indicando que los hábitos de movilidad varían según la necesidad. La heterogeneidad en comportamientos (ej.: uso de buses vs. bicicletas) justifica la no normalidad como se visualiza en la figura 20.

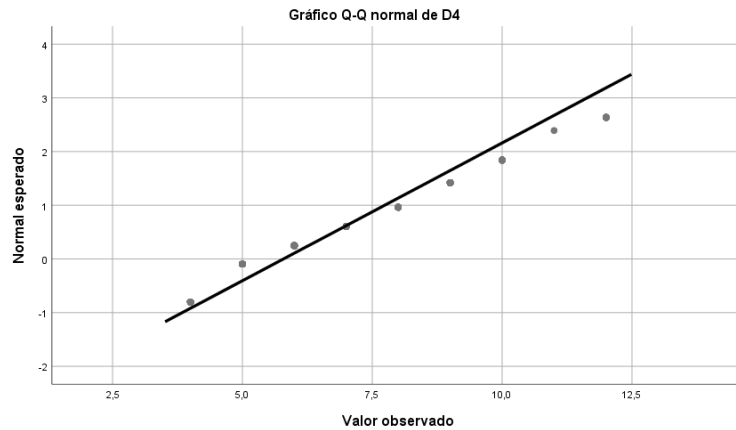
Figura 20.
Diagrama Q-Q - Dimensión 3.



Nota. Elaborado por los autores mediante SPSS-25.

Dimensión 4 (uso de agua): Lls resultados (K-S: 0.243; S-W: 0.837) confirmaron no normalidad (*p = 0.000*). P13 (cierre de grifos) tuvo un 97% de "sí", mientras P15 (consumo moderado) mostró mayor incertidumbre (59% "sí"). Esto sugiere que, aunque los estudiantes cierran grifos, su conciencia sobre el consumo responsable es desigual, generando asimetría en los datos.

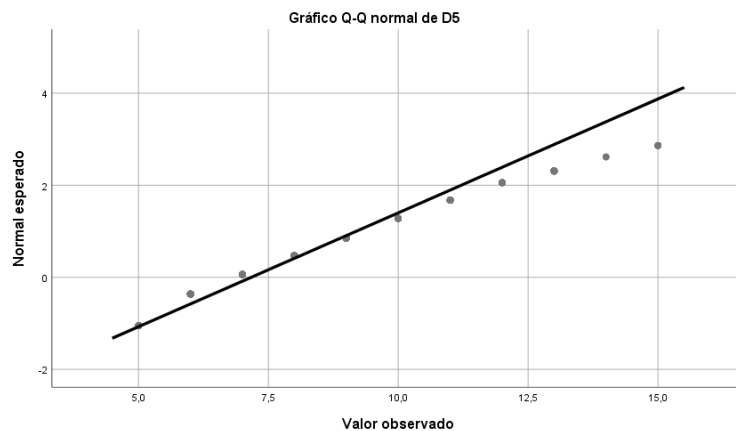
Figura 21.
Diagrama Q-Q - Dimensión 4.



Nota: Elaborado por los autores mediante SPSS-25.

Dimensión 5 (propuestas de acción): a pesar del bajo estadístico K-S (0.160), la distribución es no normal (*p = 0.000*). P21 (monitoreo) tuvo un 87 % de apoyo, pero P18 (autopercepción de impacto) mostró división (58% "sí" vs. 25% "no estoy seguro"). Esto revela que, aunque hay consenso en soluciones institucionales, la autocrítica individual es variable, afectando la normalidad como se observa en la figura 22.

Figura 22.
Diagrama Q-Q - Dimensión 5.



Nota. Elaborado por los autores mediante SPSS-25.

Entrevista.

Se inicia con la entrevista dirigida a un profesional con respecto a los criterios de selección planteados en el trabajo de investigación, donde se solicitó la participación del Ing. Muñoz Bravo Richard Edinson, Mgtr. Se lleva a cabo de forma presencial en su oficina dentro de las instalaciones de la UPSE, donde se empieza con una explicación al tema de estudio y de las interrogantes señaladas en la guía de entrevista, brindo sus respuestas con respecto a su criterio, opinión, perspectiva y conocimiento asociados a la variable de interés (anexo 10).

Desde el enfoque de este estudio, basado en un diseño (DEXPLIS), la aplicación de técnicas cualitativas, como la entrevista, juega un papel fundamental. Esta técnica permite recopilar información a partir de la experiencia de expertos vinculados al objeto de estudio, la que contribuye a una comprensión más profunda del contexto institucional. A través de las entrevistas, es posible validar el sustento teórico del modelo dinámico propuesto y enriquecer el desarrollo de escenarios prospectivos. Esta fase cualitativa no solo proporciona una base para la posterior etapa cuantitativa, sino que también asegura una integración coherente entre ambos enfoques metodológicos, reforzando así el análisis y conclusiones del estudio.

- **Análisis e interpretación de resultados.**

Los hallazgos obtenidos en la entrevista por el Mgtr. Richard Edinson Muñoz Bravo, donde se identifica diversos factores que son importantes en la modelación dinámica con relación a la huella ecológica de la UPSE, esto evidenció que prácticas como el consumo de energía, de la generación de los residuos y con la ineficiencia del uso de recursos tienden a ser determinantes para el impacto ambiental dentro del campus. Sin embargo, señala la existencia de campañas de concientización, pero su efectividad está limitada a la falta de un seguimiento robusto y de la medición de resultados esperados.

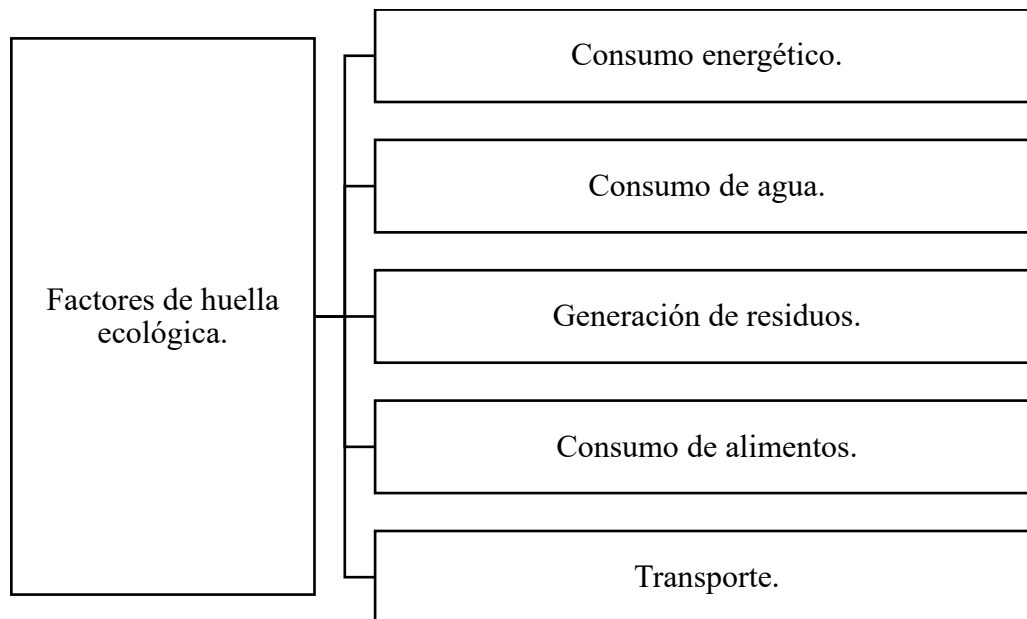
Además, se destaca que es necesario de integrar variables comportamentales donde se sugiere en acciones como la digitalización académica, en el manejo adecuado de los desechos y en la reducción de clases presencial en horarios nocturnos dentro del elemento dinámico del sistema actual. Como adicional, la sugerencia de la aplicación de incentivos que no sean monetarios y que esto fomente a una cultura ambiental que sea sostenible. Como último, se enfatiza del desarrollo de un modelo que permita la cuantificación junto a indicadores claros y de la presencia de diagnósticos constante, con la finalidad de la evaluación efectiva del impacto de estas acciones y de la proyección de escenarios futuros junto a la mejora ambiental de la institución.

3.1.4. Fase 2.- Cálculo de la huella ecológica del lugar de estudio.

En esta fase se inicia con los cálculos de la huella ecológica que se divide en cinco factores principales que es el consumo energético, el consumo del agua, la generación de residuos, el consumo de alimentos y el transporte. Cada uno implica una proporción que impacta a este indicador ambiental, por lo tanto, es necesario que se detallen los datos necesarios como se observa en la figura 23.

Figura 23.

Factores de huella ecológica.



Nota. Elaborado por los autores en base a Vaisi et al., (2021).

El consumo energético abarca el uso de la energía fósil que es utilizada el consumo eléctrico y del gas natural equivalente al suministro para el funcionamiento de las instalaciones de la universidad, el consumo de agua involucra de la misma manera al consumo de electricidad para potabilizar y suministrar el recurso a la institución, la generación de residuos por parte de los estudiantes y de su respectivo consumo de alimentos disponibles de los bares dentro del campus y de las emisiones del transporte que ingresan al recinto.

- **Consumo energético.**

Para la obtención de la huella ecológica energético, una forma es primero realizar el cálculo de la huella de carbono con los datos de consumo eléctrico por el factor de emisión otorgado por el Sistema Nacional Interconectado, (2023), además de la conversión de kilogramos a toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO₂e) como se observa en la tabla 32.

$$HC_{(consumo\ eléctrico)} = \frac{\left(Consumo(kWh) * FE \left(\frac{kgCO_2e}{kWh} \right) \right)}{1000 \frac{kg}{t}} \quad (ec.4)$$

Tabla 31.
Cálculo de huella de carbono de consumo energético.

Mes	Consumo (kWh)	Factor de emisión (kg CO ₂ e/kWh)	Total (t CO ₂ e)
Enero.	9870		1.184
Febrero.	121800		14.616
Marzo.	1176		0.141
Abril.	88200		10.584
Mayo.	11549		1.386
Junio.	131600		15.792
Julio.	120400	0.12	14.448
Agosto.	100100		12.012
Septiembre.	94500		11.340
Octubre.	81200		9.744
Noviembre.	72800		8.736
Diciembre.	93800		11.256
Total	926995		111.239

Nota. Elaborado por los autores.

Como resultado en la tabla 33, se obtiene el total por cada mes del año 2024, esto da un total de 111.24 t CO₂e que emite la UPSE mediante sus actividades de forma anual. De forma posterior, con los resultados obtenidos de la huella de carbono son calculados con el factor de conversión promedio global que es 0.27 hectáreas globales o en su abreviatura (hag) como lo indica Global Footprint Network, (2024) para así obtener la huella ecológica emergética.

$$HE_{(consumo\ eléctrico)} = HC (t CO_2e) * 0.27 \frac{hag}{(t CO_2e)} \quad (ec.5)$$

Tabla 32.
Huella ecológica de consumo eléctrico – UPSE.

Mes	Total (t CO ₂ e)	Factor de conversión	Huella ecológica emergética
Enero.	1.184		0.32
Febrero.	14.616		3.95
Marzo.	0.141		0.04
Abril.	10.584		2.86
Mayo.	1.386		0.37
Junio.	15.792	0.27	4.26
Julio.	14.448		3.90
Agosto.	12.012		3.24
Septiembre.	11.340		3.06
Octubre.	9.744		2.63
Noviembre.	8.736		2.36
Diciembre.	11.256		3.04
Total	111.239		30.03

Nota. Elaborado por los autores en base a Global Footprint Network, (2024).

Se identifica que el mes de junio tuvo una mayor huella ecológica emergética con un resultado de 4.26 hectáreas globales, mientras que el enero se establece como un mes de poco uso de este recurso que equivale a una HE de 0.32 hag. Por lo tanto, la cantidad total de este factor es de 30.03 hag con relación a su utilización en el desarrollo de las actividades universitarias dentro del campus matriz. Como adicional, se calcula HE per cápita en base a la cantidad de estudiantes dentro de la institución como se observa a continuación:

$$HE \text{ per cápita}_{(\text{consumo eléctrico})} = \frac{30.03 \text{ hag}}{12579 \text{ estudiantes}} = 0.0024 \frac{\text{hag}}{\text{estudiantes}}$$

Esto señala que la huella ecológica per cápita de forma específica al consumo energético es de aproximadamente de 0.024 de hectáreas globales por estudiante cada año, lo que se considera un valor importante para la medición de todos los factores involucrados en este indicador ambiental.

- **Consumo de agua**

Se aclara en la tabla 34, que el consumo de agua de forma directa no genera una huella ecológica significativa, esto porque mantiene su ciclo, sin embargo, las acciones que intervienen son como la potabilización respectiva, el consumo energético para la utilización de bombas para su distribución. Por lo tanto, se considera el consumo de agua en metros cúbicos junto al factor aproximado de emisión es de 0.34 kg CO₂ e/m³ señalado en el Sistema Nacional Interconectado, (2023), para que así obtener el total de emisiones en toneladas de dióxido de carbono equivalentes (t CO₂e).

Tabla 33.
Cálculo de huella de carbono de consumo de agua.

Mes	Consumo (m3)	Factor de emisión (kg CO ₂ e/m3)	Total (t CO ₂ e)
Enero.	3203		1.102
Febrero.	3203		1.102
Marzo.	3203		1.102
Abril.	3203		1.102
Mayo.	3203		1.102
Junio.	3203	0.344	1.102
Julio.	3203		1.102
Agosto.	3203		1.102
Septiembre.	3203		1.102
Octubre.	3203		1.102
Noviembre.	3203		1.102
Diciembre.	3203		1.102
Total	38436		13.221

Nota. Elaborado por los autores.

Los datos del consumo de agua de la institución es obtenido por parte de las autoridades determinadas, por lo tanto, se señala un consigue similar para cada mes de 2303 metros cúbicos, que al ser calculo junto al factor de emisión te consigue que el total es 1.10 toneladas de CO₂ equivalente, es decir, que en el año 2024 se emite 13.22 t CO₂e y así obtener la huella ecológica de este recurso si se estima el mismo factor de conversión de 0.27 por depender de la energía eléctrica, por lo cual, se mantiene la misma fórmula de cálculo y así se obtienen los resultado de cada mes como se observa en la tabla 35.

$$HE_{(\text{consumo de agua})} = HC (t CO_2e) * 0.27 \frac{hag}{(t CO_2e)} \quad (\text{ec.6})$$

Tabla 34.
Cálculo de huella ecológica de consumo de agua – UPSE.

Mes	Total (t CO ₂ e)	Factor de conversión promedio global (hag/ t CO ₂ e)	Huella ecológica energética
Enero.	1.102		0.30
Febrero.	1.102		0.30
Marzo.	1.102		0.30
Abril.	1.102	0.27	0.30
Mayo.	1.102		0.30
Junio.	1.102		0.30
Julio.	1.102		0.30
Agosto.	1.102		0.30

Septiembre.	1.102	0.30
Octubre.	1.102	0.30
Noviembre.	1.102	0.30
Diciembre.	1.102	0.30
Total	13.22	3.57

Nota. Elaborado por los autores en base a Global Footprint Network, (2024).

Se señala que la huella ecológica mensual de la institución es de 0.3 hag, es decir, que existió un consumo mínimo de 3.57 hectáreas globales en el periodo anterior. Aunque el valor total no tenga un gran impacto en el cálculo general se resalta como un factor principal y de la posibilidad de una reducción mediante propuestas de mejora. Además, se detalla una variable para la formulación de HE per cápita como se observa a continuación:

$$HE \text{ per cápita}_{(\text{consumo de agua})} = \frac{3.57 \text{ hag}}{12579 \text{ estudiantes}} = 0.0003 \frac{\text{hag}}{\text{estudiantes}}$$

Se hace énfasis que, si se considera a la población de universitarios que mantienen actividades profesionales dentro del campus matriz, se identifica que el consumo del estudiante es de 0.0002 hectáreas globales cada uno y así considerar acciones de buenos hábitos del consumo de agua que permiten una ligera reducción de este factor.

- **Generación de residuos.**

Para esta sección, en la tabla 36, existe una ausencia de datos que sustenten cantidades de residuos, por lo tanto, se plantean datos aproximados con relación a la cantidad de contenedores visibles dentro de las instalaciones, donde se investiga su carga útil nominal en magnitud de kilogramos (kg), para así calcular la capacidad de almacenamiento de estos desechos.

Tabla 35.

Cantidad y capacidad de contenedores de residuos.

Tipo de contenedor	Capacidad (litros)	Cantidad	Carga útil nominal (kg)
Contenedor grande.	120	45	95
Cesto ambiental.	50	10	39.6
Cestas.	20	169	15.8

Nota. Elaborado por los autores en base a las instalaciones de la UPSE.

Con los datos de cantidad y carga útil nominal de cada uno de contenedor de residuos presentes en el campus, se desarrollan los distintos cálculos con la finalidad de conocer la huella ecológica provocada por este de generación de desechos ocasionado por la realización de las actividades de los estudiantes.

Por lo tanto, se indica la cantidad total de almacenamiento y de la frecuencia de salidas de estos materiales por parte de los vehículos recolectores municipales como se observa en la tabla 37, que son cada 2 días lo que equivale a 183 veces al año que se retiran estos residuos lo que provoca un total de 1240.77 de toneladas al ser convertida de kilogramos.

Tabla 36.
Residuos generados al año.

Tipo de contenedor	Cantidad total	Acumulación (2 días)	Residuos generados anuales (toneladas)
Contenedor grande	4275	183	780.19
Cesto ambiental	396		72.24
Cestas	2676		488.34
Cantidad total de residuos	7347		1340.77

Nota. Elaborado por los autores en base a las instalaciones de la UPSE.

De la cantidad total de desechos estimada que se produce dentro de un año, esta esta proporcionada en distintos materiales donde se aproxima que la materia orgánica es la mayor generación con el 40 % de los residuos, mientras que el plásticos en sus distintas presentaciones en un 20 %, para los papeles que es un material de mayor uso por los estudiantes universitarios y del personal docente y administrativo esto resulta en un 35 % y otros como secciones de vidrio, caucho o tela se proporciona en menores cantidades, por lo tanto, se indica solo el 5 % del total como se observa en la tabla 38.

Tabla 37.
Proporción de residuos del campus.

Composición	Proporción	Residuos generados (tn)
Orgánicos.	40%	536.31
Plásticos.	20%	268.15
Papel.	35%	469.27
Otros.	5%	67.04
Total	100%	1340.77

Nota. Elaborado por los autores en base a las instalaciones de la UPSE.

Cada uno de estos desechos generados implican actividades como la alimentación para la materia orgánica, así mismo en los plásticos, pero también involucra con insumos utilizados en el desarrollo de las clases o trabajos por los estudiantes y el papel que es fundamental en acciones de escritura o de impresión de forma constante y la existencia de otros residuos que son desechados muy a menudo. Además, se comprende que cada material tiene un factor de

conversión de huella ecológica que depende de la ocupación de espacio con referencia a Global Footprint Network, (2024) y de artículos científico Vaisi et al., (2021) tal como se observa en la tabla 39.

Tabla 38.
Factor de conversión promedio global (hag/t) – residuos.

Tipo de residuo	Factor de HE estimado (hag/t)	Justificación	Fuente
Orgánicos.	0.03	Degradación natural.	(C. Liu et al., 2023)
Plásticos.	0.5	Alta persistencia y bajo reciclaje.	(Saleem et al., 2023)
Papel.	0.15	Moderada degradación.	(Chakraborty, 2024)
Otros (vidrios y metales).	0.1	Requiere espacio y extracción previa.	(Colangelo, 2024)

Nota. Elaborado por los autores.

Aunque no se indica un factor exacto de cada residuo, en la tabla 40, se considera un promedio de 0.48 de forma generalizado a la producción de residuos (Vaisi et al., 2021). Sin embargo, esta es ajustada con respecto a su degradación y requerimiento de espacio donde la materia orgánica al tener una rápida degradación esta es absorbida por el suelo dando un factor de 0.03 hectáreas globales por toneladas (C. Liu et al., 2023), mientras que los plásticos derivados de la energía fósil tienen una mayor duración y un factor de 0.5 (Saleem et al., 2023), para residuos de papel se tiene un valor de 0.15 en base (Chakraborty, 2024). Por lo tanto, necesita de un espacio en específico. Como adicional, se estima que el 10 % de los plásticos y el papel son reciclados, es decir, que son despreciados dentro del cálculo.

Tabla 39.
Cálculo de huella ecológica – residuos.

Composición	Residuos reciclados	Residuos no reciclados	Factor equivalente	Huella ecológica de residuos
Orgánicos.		536.31	0.03	16.09
Plásticos.	26.82	241.34	0.5	120.67
Papel.	46.93	422.34	0.15	63.35
Otros.	6.70	60.33	0.1	6.03
Total	80.45	1260.32		206.14

Nota. Elaborado por los autores.

Al distribuir los residuos si hay sido o no reciclados, esto reduce la cantidad total, ya que no generan una demanda en la biocapacidad o que requieren un espacio necesario para su absorción y ni la disposición fina, por lo cual, se obtiene un total de 1260 toneladas de desechos

que al ser juntado con el factor de conversión se tiene como resultado que la huella ecológica de esta sección es de 206.14 hectáreas globales que es el área biológica necesaria bajo las condiciones locales por su generación dentro del campus matriz. Además, se calcula la HE per cápita con relación a los 12579 estudiantes de la universidad como se ve a continuación:

$$HE \text{ per cápita}_{(residuos)} = \frac{206.14 \text{ hag}}{12579 \text{ estudiantes}} = 0.016 \frac{\text{hag}}{\text{estudiantes}}$$

Se obtiene que es necesario de 0.016 hectáreas globales por la generación de residuos orgánicos, de plástico, papel y de otros por cada uno de los universitarios matriculados en el año 2024, esto se mantiene en un nivel bajo, no obstante, es necesario aplicar métodos para mantener o reducir este indicador.

- **Consumo de alimentos.**

Con la información obtenida de los bares del campus matriz de la UPSE, en la tabla 41, se clasificó los principales alimentos utilizados y de la cantidad necesario de forma semanal para el consumo de profesionales y estudiantes en las distintas horas de comida establecidos, estos recursos en su mayor parte son registrados en quintales y los productos lácteos en litros.

Tabla 40.
Cantidad de consumo semanal de alimentos.

Alimentos	Consumo (semanal)	Conversión a kg/anuales	Consumo (anual)
Productos lácteos	200 litros	$1.03 \frac{kg}{lt} * 39 \frac{semanas}{año}$	8034 kg/año
Res.	45.36 kg.		1769.04 kg/año.
Cerdo.	45.36 kg.		1769.04 kg/año.
Pollo.	113.39 kg.		4422.21 kg/año.
Papa.	400 kg.		15600 kg/año.
Tomate.	200 kg.	$39 \frac{semanas}{año}$	7800 kg/año.
Cebolla.	200 kg.		7800 kg/año.
Arroz.	400 kg.		15600 kg/año.
Frutas.	40 kg.		1560 kg/año.
Limón.	250 kg.		9750 kg/año.
Naranja.	500 kg.		19500 kg/año.

Nota. Elaborado por los autores en base a las instalaciones de la UPSE.

El consumo de estos alimentos es variado y depende de los menús que otorgue los bares, además, que estos lugares solo están activos durante el periodo que los estudiantes ingresan al campus matriz, por lo tanto, se estima que el consumo de alimentos solo es de 39 semanas durante un año, con relación a la conversión de la leche de litros a kg, se identifica la densidad de este producto que resulta 1.03 kg/lt, que esto con el fin de obtener la huella ecológica anual de forma correcta que involucra a los factores equivalente ef_{yo} en base a Global Footprint Network, (2024) y de la productividad de la tierra P_{yo} que es el factor equivalente en referencia a Ministerio de Agricultura y Ganadería, (2021) como se muestra en la tabla 42.

$$Huella\ ecológica_{(alimento)} = \frac{Consumo\ anual * ef_{yo}}{P_{yo}} \quad (ec.7)$$

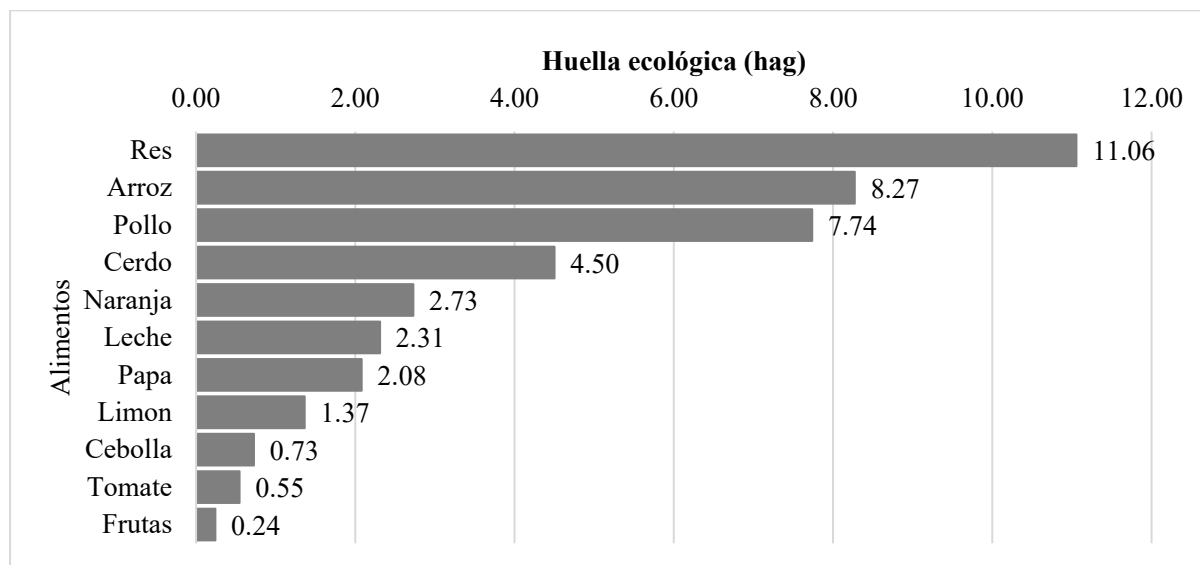
Tabla 41.
Cálculo de la huella ecológica – alimentos.

Alimentos	Consumo (semanal)	Consumo anual (kg)	ef_{yo}	P_{yo}	Huella ecológica de alimentos (hag)
Res.	45.36	1769.04	0.5	80	11.06
Arroz.	400	15600	2.8	5280	8.27
Pollo.	113.39	4422.21	2.8	1600	7.74
Cerdo.	45.36	1769.04	2.8	1100	4.50
Naranja.	500	19500	2.8	20000	2.73
Leche.	200	8034	0.5	1738	2.31
Papa.	400	15600	2.8	21000	2.08
Limón.	250	9750	2.8	20000	1.37
Cebolla.	200	7800	2.8	30000	0.73
Tomate.	200	7800	2.8	40000	0.55
Frutas.	40	1560	2.8	18000	0.24
Total	2348.75	93604.29			41.57

Nota. Elaborado por los autores en base a Global Footprint Network, (2024) y Ministerio de Agricultura y Ganadería, (2021).

Como resultado, se demuestra que la carne de res tiene una mayor huella ecológica por la necesidad de mayor espacio para su obtención con relación al consumo del campus con un total de 11.06 hag, además, el arroz y de pollo también lideran en los primeros puestos esto por baja producción en comparación a los vegetales, pero por parte de la cebolla y tomate tienen una mayor producción promedio entre 30 a 40 toneladas, son utilizados en menores cantidades y así mismo las frutas, esto se visualiza mejor en la figura 24.

Figura 24.
Huella ecológica por alimentos.



Nota. Elaborado por los autores.

Por lo tanto, la huella ecológica en el consumo de los alimentos por parte de la comunidad universitaria es de un total de 51.57 hectáreas globales que es distribuido por varios recursos como carnes, vegetales y frutas que son parte de los menús de los bares de forma frecuente.

$$HE \text{ per cápita}_{(\text{consumo de alimento})} = \frac{41.57 \text{ hag}}{12579 \text{ estudiantes} * 45\%} = 0.007 \frac{\text{hag}}{\text{estudiantes}}$$

Para el cálculo de la huella ecológica per cápita con respecto al consumo de alimentos en los bares del campus, se necesita del HE total con relación a la proporción de estudiantes de la modalidad presencial que frecuenta su consumo en estas instalaciones, donde se estima que el 45% de los universitarios al considerar criterios como jornada de estudios porque la mayor cantidad de estudiantes está en la matutina, como resultado se obtiene un total de 0.003 hag por cada estudiante que consume este recurso.

- **Transporte.**

Como último apartado, se observa en la tabla 43, está sujeto a la movilización donde se estima la cantidad de automóviles livianos y motos ingresan al campus y del recorrido promedio que es 0.63 kilómetros desde la entrada en las garitas hasta su salida, por lo tanto, se calcula el recorrido total que realizan estos vehículos en cada mes del año 2024.

Tabla 42.
Obtención de datos – transporte.

Mes	% de ocupación	Cantidad registrada (mensual)		Kilómetros recorridos totales (km)	
		Autos livianos	Motos	Autos livianos	Motos
Enero	67%	3779	322	2380.6	202.6
Febrero	23%	65	110	40.9	69.6
Marzo	15%	42	72	26.6	45.4
Abril	68%	192	326	120.8	205.6
Mayo	85%	240	408	151.0	257.0
Junio	78%	220	374	138.6	235.9
Julio	74%	209	355	131.5	223.8
Agosto	58%	164	278	103.0	175.4
Septiembre	25%	71	120	44.4	75.6
Octubre	58%	164	278	103.0	175.4
Noviembre	78%	220	374	138.6	235.9
Diciembre	84%	237	403	149.2	254.0
Total	713%	5601	3422	3528.3	2156.1

Nota. Elaborado por los autores.

Como resultado, se consigue un aproximado de 3528.3 km recorrido por los autos livianos y de 2156 km por parte de las motos, además, las proporciones de ocupación está vinculado a la capacidad que tiene cada parqueadero dentro de las instalaciones y de la estimación de ingreso de estos tipos de transporte por cada mes del año. Además, el factor de emisión de carbono que involucra cada uno con base a IPCC, (2006) y European Environment Agency, (2023) para luego realizar el cálculo de la huella ecológica como se observa en la tabla 44.

Tabla 43.
Factor de emisión y huella de carbono.

Transporte	Kilómetros recorridos totales (km)	Factor de Emisión (Ton CO ₂ /km)	Total (t CO _{2e})
Vehículos livianos	3528.3	0.00025	0.891
Motos.	2156.1	0.00008	0.179
Total.	5684.4		1.070

Nota. Elaborado por los autores en base a IPCC, (2006) y European Environment Agency, (2023).

Se obtiene en la tabla 45, que el total de emisión para vehículos livianos es de 0.891 t CO_{2e} que es debido a la cantidad de combustible necesario y para las motocicletas con 0.179 t

CO_{2e}, lo que determina un total de 1.07 toneladas de dióxido de carbono que se distribuye para cada mez del año 2024 para una mejor representación de los datos.

Tabla 44.
Cálculo de la huella ecológica – transporte.

Mes	Total (t CO _{2e})	Factor de conversión promedio global (hag/ t CO _{2e})	Huella ecológica de transporte
Enero	0.1006		0.027
Febrero	0.0345		0.009
Marzo	0.0225		0.006
Abril	0.1021		0.028
Mayo	0.1276		0.034
Junio	0.1171	0.27	0.032
Julio	0.1111		0.030
Agosto	0.0871		0.024
Septiembre	0.0375		0.010
Octubre	0.0871		0.024
Noviembre	0.1171		0.032
Diciembre	0.1261		0.034
Total	1.0703		0.289

Nota. Elaborado por los autores en base a Global Footprint Network, (2024).

Con el total de emisiones de carbono mensual, se establece el factor de conversión de hag/ t CO_{2e} que es en referencia a Global Footprint Network, (2024), esto como resultado se obtiene que la huella ecológica es de 0.289 hectáreas globales que se utiliza para esta sección, con esto se calcula la HE per cápita donde se considera al 11 % que contestó que no utiliza el transporte público, bicicleta o caminas para llegar a la UPSE (figura 26).

$$HE \text{ per cápita}_{(transporte)} = \frac{0.289 \text{ hag}}{12579 \text{ estudiantes} * 11\%} = 0.00021 \frac{\text{hag}}{\text{estudiantes}}$$

Se obtiene mediante este calculo que el consumo HE per cápita es de 0.00021 hectáreas globales con cada estudiante considerado que es el 11 % del total de matriculados, esto se interpreta que es un consumo muy bajo que es debido a un área de 31.23 hectáreas, por lo cual, el recorrido a los distintos aparcamientos no es muy alejados.

Con los cinco componentes principales de la huella ecológica calculados, esto son agrupados para la sumatoria de todas las hectáreas globales obtenidos y del HE per cápita de cada consumo y generación dentro del campus matriz UPSE por parte de los estudiantes como se observa en la tabla 46.

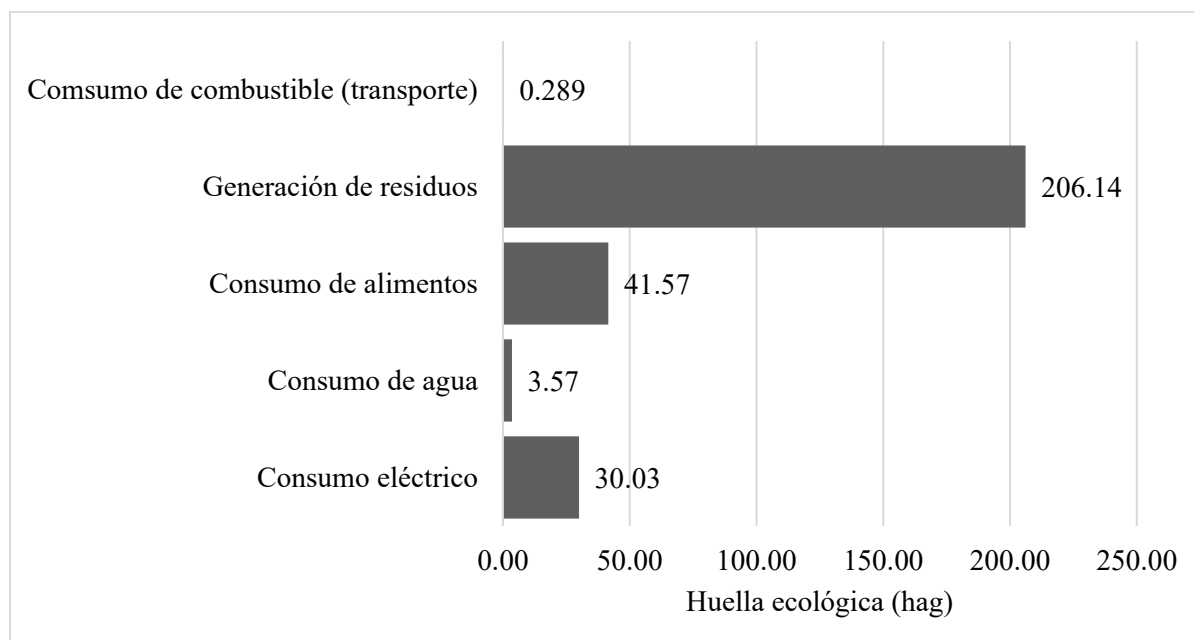
Tabla 45.
Huella ecológica del campus matriz UPSE – 2024.

Componente	Huella ecológica (hag)	HE. Per cápita (hag/total de estudiantes)
Consumo eléctrico.	30.03	0.00239
Consumo de agua.	3.57	0.00028
Consumo de alimentos.	41.57	0.00734
Generación de residuos.	206.14	0.01639
Consumo de combustible (transporte).	0.289	0.00021
Total	281.61	0.027

Nota. Elaborado por los autores.

Con la agrupación del consumo eléctrico, de agua, alimentos, de combustible utilizado en el transporte y de la generación de residuos de distintos recursos se obtiene un total de 281.61 que consume las instalaciones en un periodo de un año. Con la presencia de 12579 estudiantes considerando la frecuencia para utilización de los bares del 45 %, de la proporción del 10 % de residuos reciclados y de la proporción de disposición de un medio de transporte personal que es del 11 %, esto determina que cada estudiante tiene un consumo de 0.027 hectáreas globales anuales de cada componente como se observa en la figura 25.

Figura 25.
Distribución de huella ecológica en campus UPSE.



Nota. Elaborado por los autores.

Se resalta que la generación de residuos es el que tiene mayor utilización de los recursos con un total de 206.14 hag, como segundo está el consumo de alimentos que está ligada a una

proporción de estudiantes lo que se consigue 41.57 hag, mientras que el consumo eléctrico se reduce de forma considerable debido a que el país Ecuador un principal fuente de energía viene de las hidroeléctricas lo que provoca un factor de emisión bajo lo que involucra al resultado deseado y el consumo de combustible que se requiero la cantidad emitida al aire como dióxido de carbono lo que afecta a la huella ecológica, así mismo el consumo de agua que al ser un ciclo este no tiene un factor notorio pero se considera la necesidad de energía para potabilizar el agua y de la distribución al campus UPSE.

Biocapacidad.

Esta sección se comprende como una medida de la capacidad que tiene un área en específico para la producción de recursos biológicos y la posibilidad de la absorción de los desechos y que así este regenere la cantidad demanda por los habitantes o personas (Vaisi et al., 2021). Por esto mismo, en la tabla 47, se especifican datos como la superficie provincia que es de 3762.80 kilómetros cuadrados, es decir, un total de 376280 hectáreas de suelo que se clasifica en distintos terrenos que tiene su factor equivalente en base a Global Footprint Network, (2024).

Tabla 46.

Superficie de la provincia de Santa Elena.

Tipo de terreno	Superficie (ha)	Factor equivalente
Cultivable	79525	2.8
Suelo sin edificar	123702	0.5
Bosque	112450	1.1
Mar	52231	0.2
Suelo edificado	8372	2.8

Nota. Elaborado por los autores en base a Global Footprint Network, (2024) y Vaisi et al., (2021).

Mediante la obtención de información por parte del (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021) y de fuentes municipales de la provincia de Santa Elena, se identifica la superficie de cada terreno, donde se establece que el suelo cultivable es de 79525 hectáreas que es utilizado para los recursos que estén adaptado a este tipo de tierra y que su producción es de 89747 toneladas de recursos, así mismo, el suelo sin edificar representa para actividades de pastoreo y de ausencia de construcciones y de poca vegetación como 123702 hectáreas, el bosque seco característico de la provincia tiene una expansión de 112450 y como su ubicada presenta un área de mar de 52231 hectáreas motivo que su principal actividades está ligado a

la captura de pesca y se sustenta en tener un producción de 8521.89 toneladas como se observa en la tabla 48.

$$BC (gah) = Superficie * Factor equivalente * Factor de rendimiento \quad (ec.8)$$

Tabla 47.
Biocapacidad de la provincia de Santa Elena.

PROVINCIA DE SANTA ELENA					
Tipo de terreno	Superficie (ha)	Factor equivalente (EqF)	Producción Anual (Ton)	Factor de rendimiento (YF)	Biocapacidad (gah)
Cultivable	79525	2.8	89747	1.13	251291.6
Suelo sin edificar	123702	0.5	618510	1.0	61851.0
Bosque	112450	1.1	224900	2.0	247390.0
Mar	52231	0.2	11522	0.22	2304.4
Suelo edificado	8372	2.8		0.3	7032.5
BC total de la provincia de Santa Elena					569869.5
Población					385735.0
BC per cápita (gha)					1.48

Nota. Elaborado por los autores en base a Global Footprint Network, (2024).

Para el cálculo de la biocapacidad se necesita de la superficie de cada terreno y del factor equivalente obtenido de Global Footprint Network, (2024), además del factor de rendimiento que es calculo con la relación de la superficie respectiva y de la producción anual, se consigue que la capacidad biológica total de la provincia de Santa Elena es de 569869.5 lo que equivale a 1.48 hectáreas globales per cápita al considerar la población de 385735 habitantes lo que señala una situación favorable.

- Tierras cultivables: esto tiene un aporte de 251,291.6 hag (equivale al 44.1 % del total), lo que señala la importancia de la agricultura en la provincia, en cultivos como maíz, bananos, limón, entre otros. El factor de rendimiento (1.13) indica una productividad moderada, debido a que es dependiente de prácticas de riego en ciertos sectores.
- Pastos: representan 61,851 hag (con una proporción 10.9% del total), siendo el componente más significativo, donde el factor de rendimiento de 1 que sugiere un uso intensivo para ganadería o áreas con vegetación forrajera.
- Bosques: contribuyen con 247,390 hag, es decir, el 43.4 % del total estimado, este valor destaca en la presencia de bosques secos tropicales como son los algarrobos que tienen

una capacidad de regeneración y que la producción corresponde a la biomasa o captura de CO₂ aproximado.

- Mar: con un aporte del 2,304.4 hag (0.3 %), resultado de los recursos pesqueros capturados en los distintos puertos de la provincia y de las limitaciones en la capacidad de regeneración marina.
- Suelo edificado: su contribución es mínima con un total 7,032.5 hag, que se sustenta con la reducción de áreas bio - productivas que es producto de la urbanización.

3.1.5. Fase 3.- Déficit o reserva ecológica.

En la tabla 49, se presenta el cálculo del déficit ecológico (DE) o residuo ecológico (RE) para el año 2024, en donde se compara la biocapacidad provincial per cápita con el valor de 1.48 hag y con la huella ecológica per cápita de 0.027 hag con relación al campus matriz UPSE. Este valor se obtiene de la diferencia entre estos valores donde se obtiene que R-D es igual a 1.45 hag. En este caso, el resultado positivo (RE) indica que Santa Elena cuenta con un excedente de recursos naturales disponibles por persona, es decir que tiene una capacidad de regeneración mayor a la demanda del campus.

Tabla 48.
Déficit ecológico (DE) y residuo ecológico (RE).

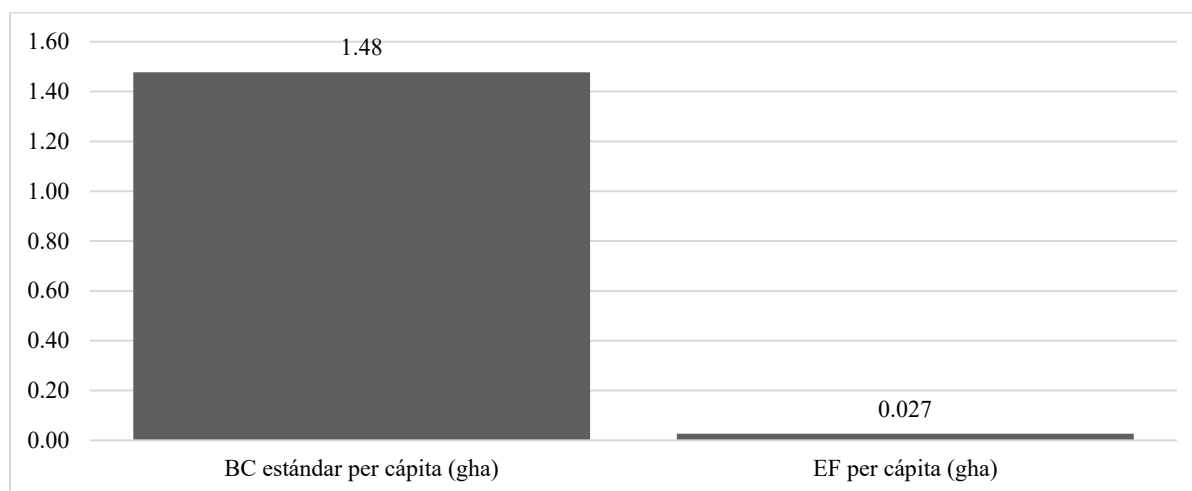
Año	BC estándar per cápita provincial (gha)	EF per cápita (gha)	R-D	ED o RE
2024	1.48	0.027	1.45	RE

Nota. Elaborado por los autores.

Los resultados revelan que la huella ecológica del campus matriz UPSE con una huella ecológica per cápita de 0.027 hag es significativamente inferior a la biocapacidad per cápita de la provincia de Santa Elena con un total de 1.48 hag por su amplia expansión de áreas de cultivos forrajeros y del bosque seco con grandes áreas de biomasa que absorben el carbono, lo que confirma un residuo ecológico (RE) considerable de 1.45 hag. Esta brecha positiva refleja que, a nivel provincial, los recursos naturales disponibles superan ampliamente el impacto generado por las actividades universitarias en una gran escala como se observa en la figura 26.

Figura 26.

Biocapacidad provincial y huella ecológica per cápita de campus.



Nota. Elaborado por los autores.

Aunque se señala una baja huella ecológica por parte de la UPSE, también se ve afectada a la exclusión de otros factores externos como es el uso de combustible para motores, entre otros. Por lo tanto, se realiza el cálculo de forma específica a la superficie que ocupa el campus matriz que es de 31 hectáreas donde se representa por cultivos, bosques (árboles), zona con vegetación y suelo edificado como se estima en la tabla 50.

Tabla 49.

Biocapacidad del campus UPSE.

Tipo de terreno	Superficie (ha)	CAMPUS UPSE		Biocapacidad
		Factor equivalente	Factor de rendimiento	
Cultivable.	0.155	2.8	0.95	0.4
Suelo con vegetación.	7.595	0.5	0.65	2.5
Zona con árboles.	3.1	1.1	1.00	3.4
Suelo edificado.	20.15	2.8	0.10	5.6
BC total de la provincia de Santa Elena				11.9
Población				12579.0
BC per cápita (gha)				0.001

Nota. Elaborado por los autores en base a Global Footprint Network, (2024).

La superficie es proporcionada mediante la división de cada tipo de terreno en donde predominan el suelo con vegetación y de la edificación, con la variación de la producción anual

obtenido de los huertos y de la biomasa existente se calcula el factor de rendimiento. Como resultado se obtiene que la biocapacidad es de 11.9 hectáreas globales y que su BC per cápita es de 0.001 hag por estudiante que es considerado bajo en comparación a nivel provincial, esto se sustenta con un mayor porcentaje de suelo edificado cuestión que solo sus pequeñas áreas verdes mantienen un factor de 0.1 lo que limita a la biocapacidad como se observa en la tabla 51. En el cálculo que señala si hay un déficit o residuo ecológico se muestra un R-D de -0.0257 lo que implica que existe un nivel bajo de deficiencia.

Tabla 50.
Déficit ecológico (DE) y residuo ecológico (RE) – campus.

Año	BC per cápita campus UPSE	EF per cápita (gha)	R-D	DE o RE
2024	0.001	0.027	-0.0257	ED

Nota. Elaborado por los autores.

Se evidencia que este déficit ecológico de -0.0257 hectáreas globales por estudiantes del campus señala una ausencia de recursos naturales, es decir, que no es suficiente para sostener el nivel de consumo actual y de la generación de residuos, por lo tanto, la UPSE depende de forma ecológica de áreas externas (biocapacidad provincial) para la sostenibilidad de las actividades diarias.

3.1.6. Fase 4.- Índice de huella ecológica.

Con todos los datos obtenidos, se señala el índice de huella ecológica o en sus siglas en inglés (EFI) que es la diferencia porcentual entre de biocapacidad respectiva y del nivel de sostenibilidad del campus UPSE, en la cual tiene distintos niveles de sostenibilidad en base al resultado de la ecuación.

$$EFI = \frac{BC - EF}{BC} \quad (\text{ec.9})$$

Tabla 51.
Escala de nivel de sostenibilidad.

Nivel	EFI	Nivel de sostenibilidad
1	$0.5 < EFI > 1$	Fuerte sostenibilidad.
2	$0 < EFI \leq 0.5$	Sostenibilidad débil.
3	$-1 < EFI \leq 0$	Insostenible.
4	$EFI \leq -1$	Fuerte insostenibilidad.

Nota. Obtenido de Vaisi et al., (2021).

Con la escala planteada, como se visualiza en la tabla 53, se calcula el índice para las dos áreas que son la biocapacidad per cápita de la provincia de Santa Elena y del campus UP

con relación a la huella ecológica per cápita de la misma institución, para demostrar distintos escenarios y de la variedad de los resultados.

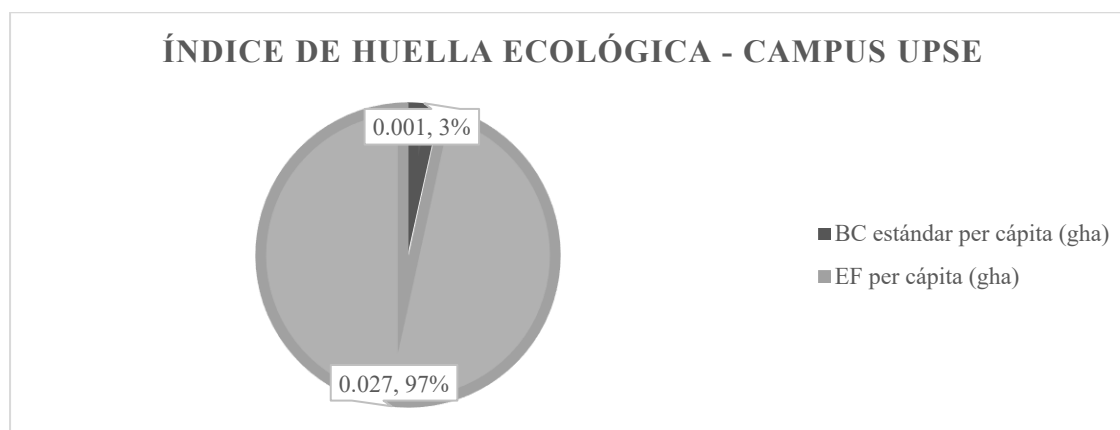
Tabla 52.
Cálculo del índice de huella ecológica.

Territorio	BC estándar per cápita	EF per cápita (gha)	EFI	Nivel de sostenibilidad
Provincia de Santa Elena.	1.477	0.027	0.98	Fuerte sostenibilidad.
Campus UPSE.	0.001	0.027	-27.054	Fuerte insostenibilidad.

Nota. Elaborado por los autores.

Los resultados revelan una diferencia entre la sostenibilidad en la escala provincial y actual dentro del campus UPSE. A nivel provincial, Santa Elena muestra una fuerte sostenibilidad (EFI = 0.98), con una biocapacidad per cápita (1.48 gha) que la que supera ampliamente su huella ecológica (0.027 gha), lo que indica un excedente de recursos naturales disponibles. Sin embargo, el campus UPSE presenta un déficit ecológico (EFI = -27.054), ya que la misma huella ecológica supera su propia biocapacidad (0.019 gha) como se observa en la figura 27.

Figura 27.
Proporción de índice de huella ecológica.



Nota. Elaborado por los autores.

3.1.7. Fase 5.- Interpretación de resultados.

Esto evidencia que sus operaciones dependen de recursos externos, por lo tanto, es despreciable este indicador del campus en el desarrollo de modelado dinámicos y se mantiene como un adicional para conocer la biocapacidad de la UPSE. Además, estos resultados sugieren que, aunque la provincia tiene capacidad para absorber el impacto de las instalaciones, este es

necesario de la formulación de estrategias para la reducción de la huella para transitar de un modelo insostenible a uno regenerativo y así conseguir una reducción para los siguientes periodos.

3.2. Propuesta.

3.2.1. Tema.

Metodología para el cálculo de huella ecológica y su modelación dinámica en la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

3.2.2. Introducción.

A nivel global, existe una compleja relación de la huella ecológica con distintos factores claves como es el crecimiento económico, poblacional o del aumento de las energías renovables o nucleares, en forma general, es la medición del PIB pero también del consumo de los recursos lo que provocan un aumento en la HE (Oprea et al., 2024). Por lo tanto, es necesario emplear modelos como los ARDL ya sea simétricos o asimétricos que son herramientas econométricas para una evaluación de las relaciones existentes durante periodo a largo plazo y de la exploración de la biocapacidad que son evaluados a través de pruebas complementarias (Danish et al., 2019). En síntesis, esto permite el análisis de la relación entre variables en distintas series temporales, esto permite la estimación de forma simultánea sobre la dinámica de las conexiones.

En el Ecuador, se frecuenta la dinámica de modelos climáticos regionales o de emisiones GEI donde se lleva a cabo sobre las proyecciones del cambio en sus precipitaciones y en la temperatura donde se reflejan cambios no alentadores lo que afecta a la biodiversidad (Portalanza et al., 2024). Sin embargo, la identificación de la huella ecológica (HE), biocapacidad se utilizan tendencias a largo plazo para obtener el efecto de indicadores demográficos o económicos del país, en la cual, se elaboran modelos detallados y de fácil interpretación ya que permite un pronóstico con mayor precisión de la HE (Ilbay et al., 2021). Para así hacer comparativa entre periodos futuros que permita tener como resultado las hectáreas globales (hag) si está a favor o en contra debido a un posterior déficit en la biocapacidad.

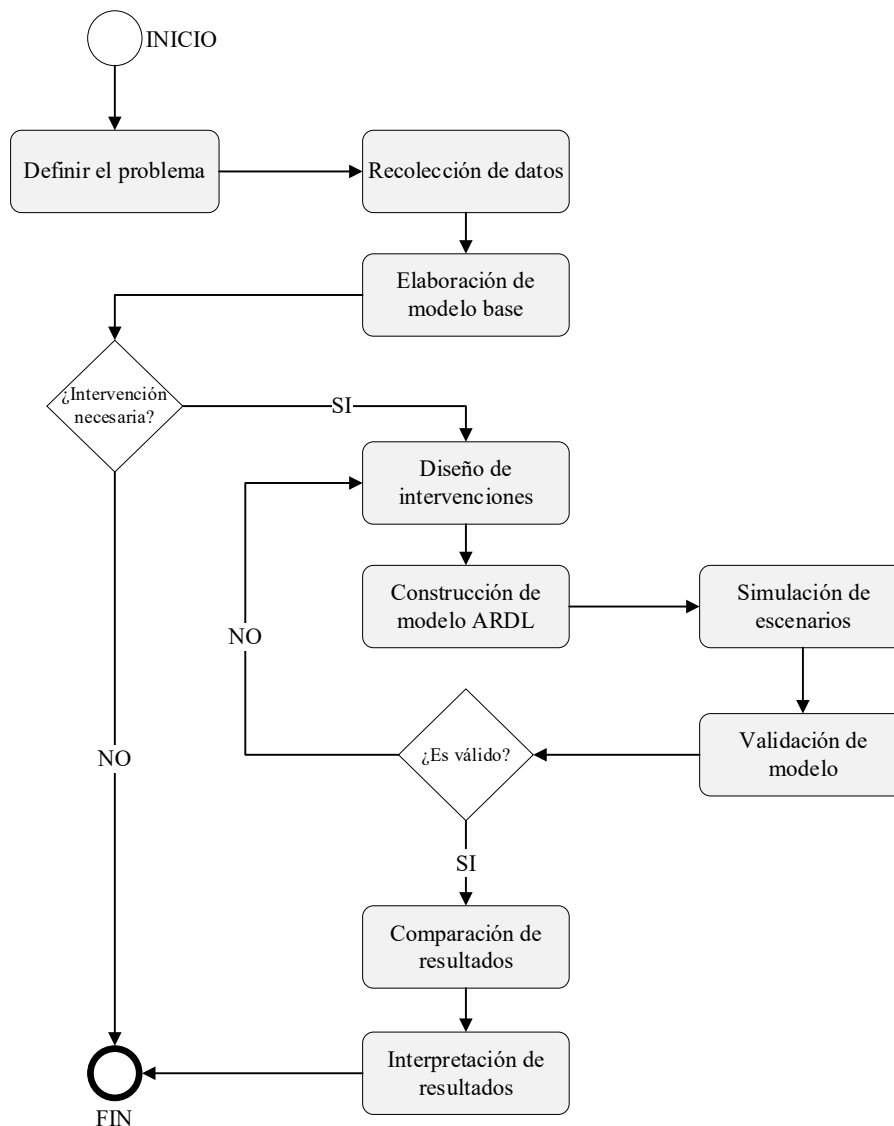
En la provincia de Santa Elena presenta una falta de evaluación y de la gestión de la huella ecológica lo que refleja un aumento de este indicador ambiental, lo que provoca a prácticas insostenibles en el consumo de recursos de forma local (Zambrano & Herrera, 2024). Con la modelación dinámica en el campus matriz UPSE mediante el cálculo de la huella

ecológica y su simulación por series temporales que conlleva a la visualización de los factores involucrados en la HE. Esto permite la elaboración de propuesta para una intervención a la huella ecológica existente en las instalaciones de la universidad con metas para la reducción de su impacto a futuro.

3.2.3. Metodología.

Se elabora un flujograma donde se establecen las actividades involucradas en el desarrollo de la modelación dinámica del cálculo de la huella ecológica del campus matriz UPSE, esto involucra a la construcción de un tipo de modelo econométrico como es ARDL y de la simulación de series temporales como se observa en la figura 28.

Figura 28.
Metodología de modelación.



Nota. Elaborado por los autores.

Con este diagrama se plantea una secuencia en la elaboración de la modelación dinámica, este empieza con la definición del problema que es señalado en el cálculo de la huella ecológica donde se obtiene un indicador EFI de 0.98 lo que mantiene una fuerte sostenibilidad con respecto a la biocapacidad de la provincia de Santa Elena, no obstante, el campus a pesar de tener un nivel bajo en su huella ecológica, es necesario de intervención que permitan una reducción y que no exista un alto crecimiento en un siguiente periodo.

3.2.4. Selección de variables.

Es necesario conocer las variables y parámetros que involucran en el desarrollo de la modelación dinámica, en la cual, se inicia con el desarrollo de la huella ecológica actual del campus, esto implica en la introducción de valores y ecuaciones involucradas como son las principales por consumo de recursos, parámetros como crecimiento poblacional, factores de emisión y conversión y las salidas o resultados como se observa en la tabla 54.

Tabla 53.

Tipos de variables y parámetros del modelo actual.

Tipo	Variable	Símbolo	Descripción
Variables de Estado (stocks).	Huella ecológica total.	HE_t	HE agregada de la universidad (hag).
	Huella de energía eléctrica.	E_t	HE por consumo eléctrico.
	Huella de agua.	W_t	HE por consumo de agua.
	Huella de alimentos.	F_t	HE por consumo de alimentos.
	Huella de residuos.	R_t	HE por generación de residuos.
	Huella de transporte.	T_t	HE por combustible en transporte.
Parámetros.	Tasa de crecimiento poblacional.	g	Tasa anual de crecimiento de estudiantes o habitantes.
Factores de emisión.	Consumo eléctrico.	E_{eq}	Factor de emisión de CO ₂ por consumo eléctrico.
	Suministro de agua.	W_{eq}	Factor de emisión de CO ₂ por suministro de agua.
	Combustible.		Factor de emisión de CO ₂ por combustible utilizado.
Factor de conversión.	Promedio global por t CO _{2e} .	$F_{y,HE}$	Factor de conversión promedio (0.27 hag/t CO _{2e}).
	Factor equivalente.	P_{y0}	Coficiente constante de huella ecológica.
	Productividad de la tierra.	ef_{y0}	Coficiente constante de productividad por tipo de tierra.

Tabla 53.

Tipos de variables y parámetros del modelo actual (continúa).

Outputs	HE per cápita.	HE_{pc}	HE_t total, dividida por población estudiantil.
	Biocapacidad per cápita.	B_{pc}	B_t total, dividida por población estudiantil.

Nota: Elaborado por los autores.

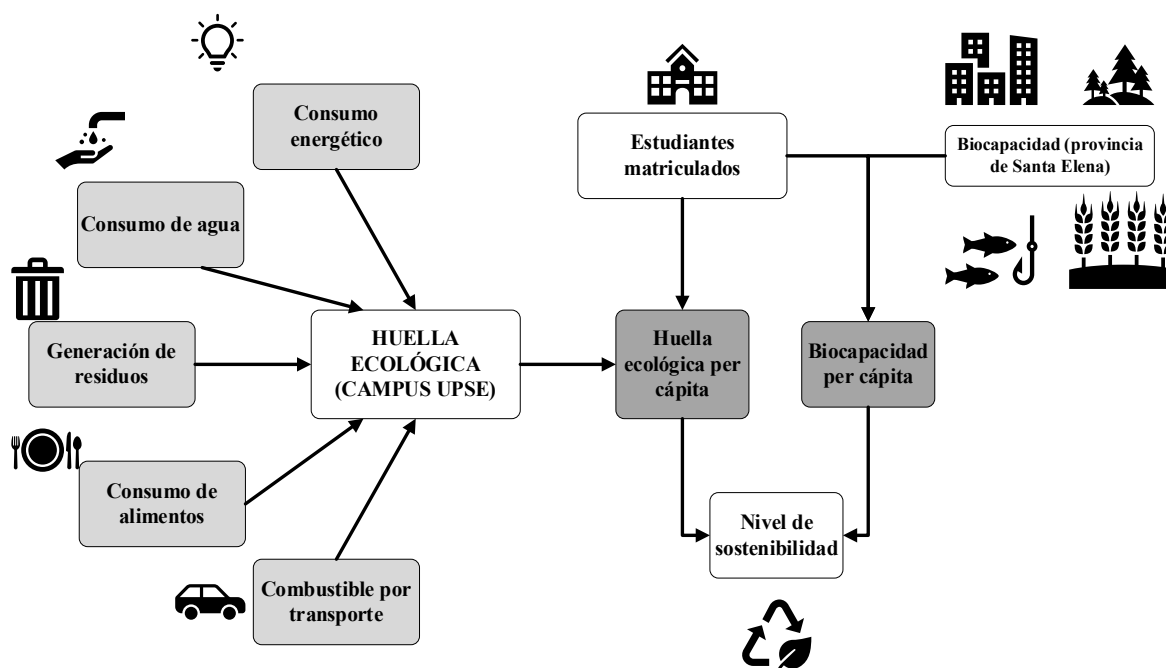
Cada una de estas variables son responsables de una serie de ecuaciones que permiten a la huella ecológica total del campus UPSE, el desarrollo de situación inicial de conocer la necesidad de intervenciones para iniciar un modelo ARDL debido a que implica los términos autorregresivos que son los factores de la huella ecológica como distribuidos que son las variables explicativas que son las propuestas de mejora.

3.2.5. Modelo conceptual.

Para el desarrollo de un sistema dinámico, se establecen la representación visual con las conexiones del sistema y así comprender el comportamiento o característica de la situación actual de la huella ecológica para un análisis de los aspectos relevantes junto a la biocapacidad como se observa en la figura 29.

Figura 29.

Modelo conceptual actual.



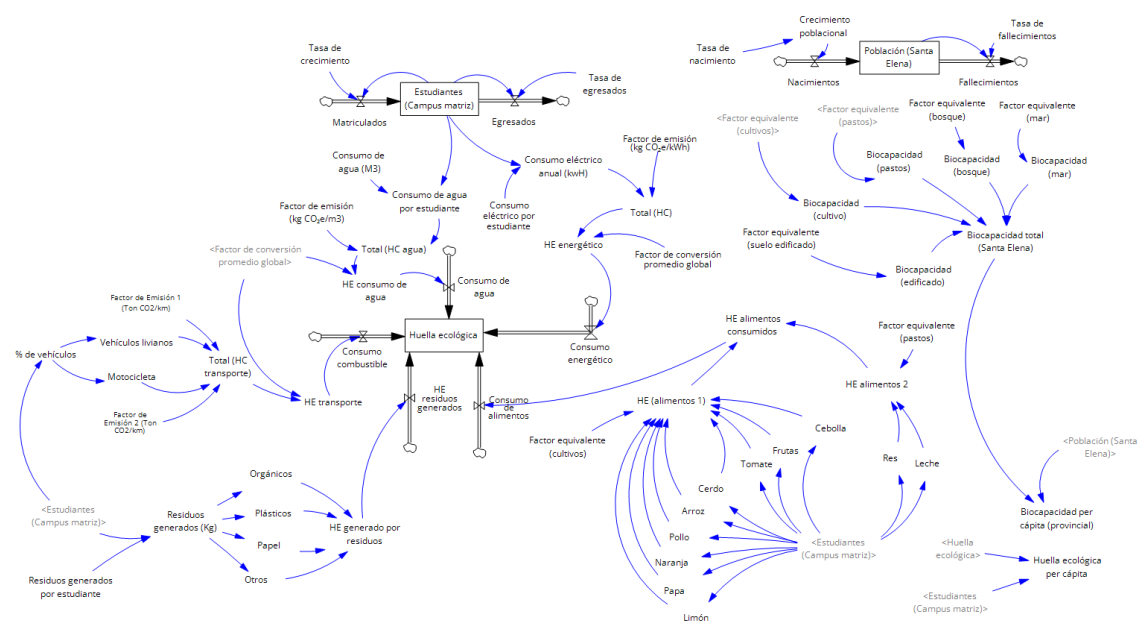
Nota. Elaborado por los autores.

Las cinco variables que involucra a la HE del campus UPSE tienen un papel fundamental para el total de este indicador ambiental esto es relacionado con los estudiantes matriculados de cada periodo para obtener la huella ecológica per cápita, además, la biocapacidad tanto a nivel provincial como de las instalaciones de la universidad para observa la situación en series temporales dentro de los próximos cinco años de actividad, esto con el fin de verificar los cambios en el nivel de sostenibilidad de la institución.

3.2.6. Desarrollo de modelo.

Tal como se visualiza en la figura 30, con el uso del programa Vensim se introduce cada uno de los factores involucrados (consumo energético, de agua potable, de alimentos, combustible para transporte por vehículos livianos y motocicletas y generación de distintos tipos de residuos), además de la biocapacidad dentro del campus para una visualización de las alteraciones que tiene durante el periodo de tiempo señalado de (2025 a 2030), esto fueron almacenados en distintas cajas (niveles) que son relacionados con el crecimiento de la población de estudiantes matriculados para conseguir los indicadores per cápita.

Figura 30.
Modelo dinámico de HE y biocapacidad sin intervención (campus).



Nota. Elaborado por los autores mediante Vensim.

Este modelo dio como resultados a valores crecientes resultantes de un alza de la huella ecológica del campus si se mantienen las condiciones actuales, es decir, sin mejoras a futuro que permitan reducir en nivel del indicador ambiental, por lo tanto, se obtienen estos valores de cada periodo donde evidencia el alza como se observa en la tabla 55.

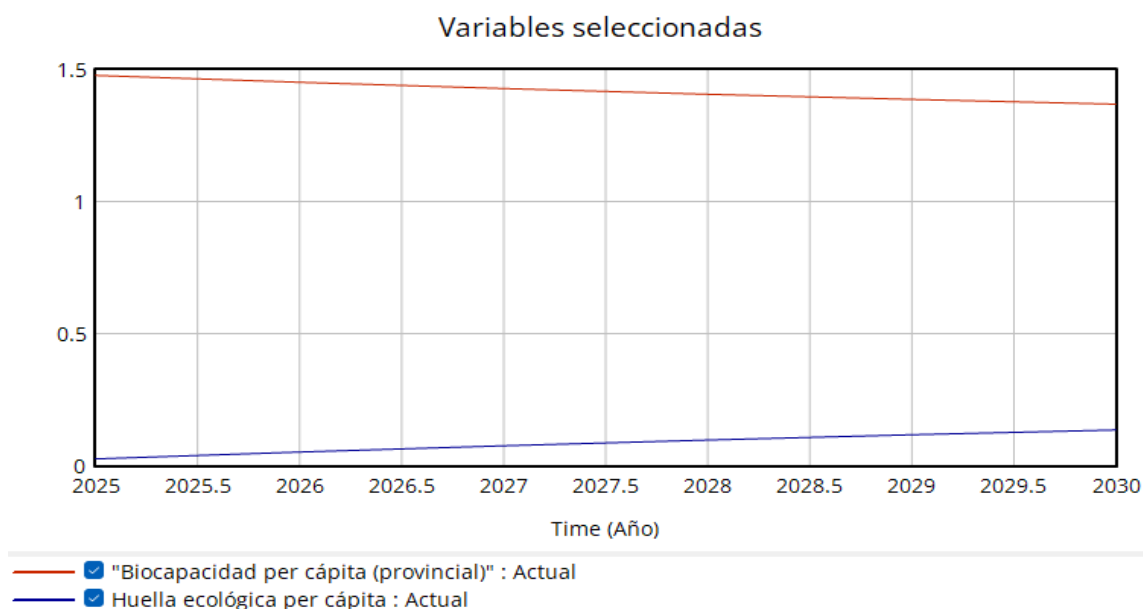
Tabla 54.
Resultados de series temporales (2025 - 2030).

Time (Year)	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Consumo combustible.	0.29	0.32	0.34	0.38	0.41	0.45	0.49
Consumo de agua.	3.57	3.89	4.24	4.62	5.04	5.49	5.99
Consumo de alimentos.	41.57	45.32	49.39	53.84	58.68	63.97	69.72
Consumo energético.	30.03	32.74	35.68	38.90	42.40	46.21	50.37
HE residuos generados.	206.18	224.73	244.96	267.01	291.04	317.23	345.78

Nota. Elaborado por los autores mediante VenSIM.

Como adicional a la tabla anterior, se estima que para el año 2030, la huella ecológica anual desde el 2025 al 2030 hay un crecimiento del 54 % en cada una de las variables, esto representa que el consumo de recurso se incrementa con relación a las cantidades de estudiantes matriculados de cada periodo. Al realizar la comparativa de las salidas que son HE_{pc} (huella ecológica per cápita) y B_{pc} (biocapacidad provincial per cápita) se busca evaluar la diferencia entre ellos para cada año, así medir el impacto del consumo humano con la capacidad del área para sostenerlo como se observa en la figura 31.

Figura 31.
Comparativa de HE (campus) y BC (provincial).



Nota. Elaborado por los autores mediante VenSIM.

Al realizar la comparativa de la huella ecológica a lo largo del tiempo establecido, se puede identificar un aumento en el déficit ecológico ya existente debido a un aumento exponencial en el consumo de recursos en el campus junto a una reducción de la capacidad del lugar para suministrar los servicios ecosistémicos como se observa en la tabla 56. Sin embargo, se recuerda que gran parte de la HE actual es por la adquisición de insumos obtenidos fuera de la institución (biocapacidad de la provincia de Santa Elena) pero es necesario mantener un nivel bajo de este indicador para evitar un efecto negativo a largo plazo.

Tabla 55.
Indicadores de sostenibilidad sin intervención.

Time (Año)	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Biocapacidad per cápita (actual).	1.4782	1.4521	1.4284	1.4068	1.3872	1.3693
Huella ecológica per cápita: actual.	0.0266	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
R-D.	1.4516	1.4276	1.4039	1.3824	1.3628	1.3449
EFI.	0.982	0.9832	0.9829	0.9826	0.9824	0.9822

Nota. Elaborado por los autores mediante Vensim.

El índice de la huella ecológica (EFI) que inicia con 0.98 que es equivalente a un nivel de fuerte sostenibilidad, pero en el 2027 este valor se reduce a 0.9829 comparado al año anterior en un escenario de que la biocapacidad interna se mantiene en este mismo nivel y el crecimiento de estudiantes se sigue elevando de forma exponencial, esto provoca que para el año 2030 el EFI sea de 0.9822 lo que implica que para sostener el consumo de recursos se demandará a la biocapacidad provincial con una ligera alza en su frecuencia. En síntesis, aunque la provincia de Santa Elena aún puede tener un índice alto, se evidencia una reducción muy notoria provocada por la necesidad de mayores fuentes de bienes naturales de la UPSE en su campus matriz.

- **Propuestas de intervención.**

Como demostración del funcionamiento de la metodología del cálculo de la huella ecológica, se plantea un escenario favorable donde se aplican dos intervenciones con la finalidad de reducir la huella ecológica como la reducción del consumo energético y en el reciclaje de residuos plásticos y de papel, en lo cual conlleva una planificación adecuada para una futura aplicación dentro del campus matriz UPSE y así disminuir el impacto negativo a la sostenibilidad, por lo tanto, se describe las primeras actividades en la tabla 57.

Tabla 56.*Elaboración de intervención 1.*

Actividad planificada:	“Programa de concientización sobre el consumo de energía eléctrica en el campus UPSE”
Dirigido a:	Comunidad universitaria.
Fecha de inicio:	Enero – 2026.
Fecha de finalización:	Enero – 2030.
Documento propuesto:	Plan de campaña de concientización.
Indicador de desempeño:	Consumo energético anual. Participación estudiantil. Cobertura de señaléticas. Reducción en un 15%.
Meta:	Presentación del 70% de estudiantes en talleres y concursos. 100% de pancartas en áreas comunes.

Objetivo general:

Reducir el consumo energético del campus matriz de la UPSE mediante la promoción de buenos hábitos de estudiantes y personal universitario para el apoyo de estrategias que minimicen el impacto de la huella ecológica.

1. Actividades propuestas.**A. Sensibilización inmediata (2025-2026).**

1. Pancartas y señalética.

- Ubicación: puntos estratégicos (aulas, laboratorios, cafetería, pasillos).
- Contenido: mensajes claros y gráficos:
 - "Apaga las luces al salir".
 - "Desconecta equipos que no uses".
 - "Usa la luz natural cuando sea posible".
- Inversión:
 - Diseño e impresión: \$200 (material resistente al clima).

2. Mensajes digitales.

- Pantallas en aulas y laboratorios: mostrar mensajes de ahorro energético al inicio de cada sesión.
- Correos institucionales: envío mensual de tips de eficiencia energética.
- Inversión:
 - Creación de contenido digital: realizado por estudiantes de diseño gráfico.

3. Charlas y talleres.

- Frecuencia: trimestral.
- Temas:
 - Impacto ambiental del consumo energético.
 - Demostración de ahorro con ejemplos prácticos (medición de consumo energético mensual).
- Responsables: docentes de Ingeniería Ambiental + voluntarios.

B. Acciones a mediano plazo (2027-2030).

4. Reemplazo gradual de equipos.

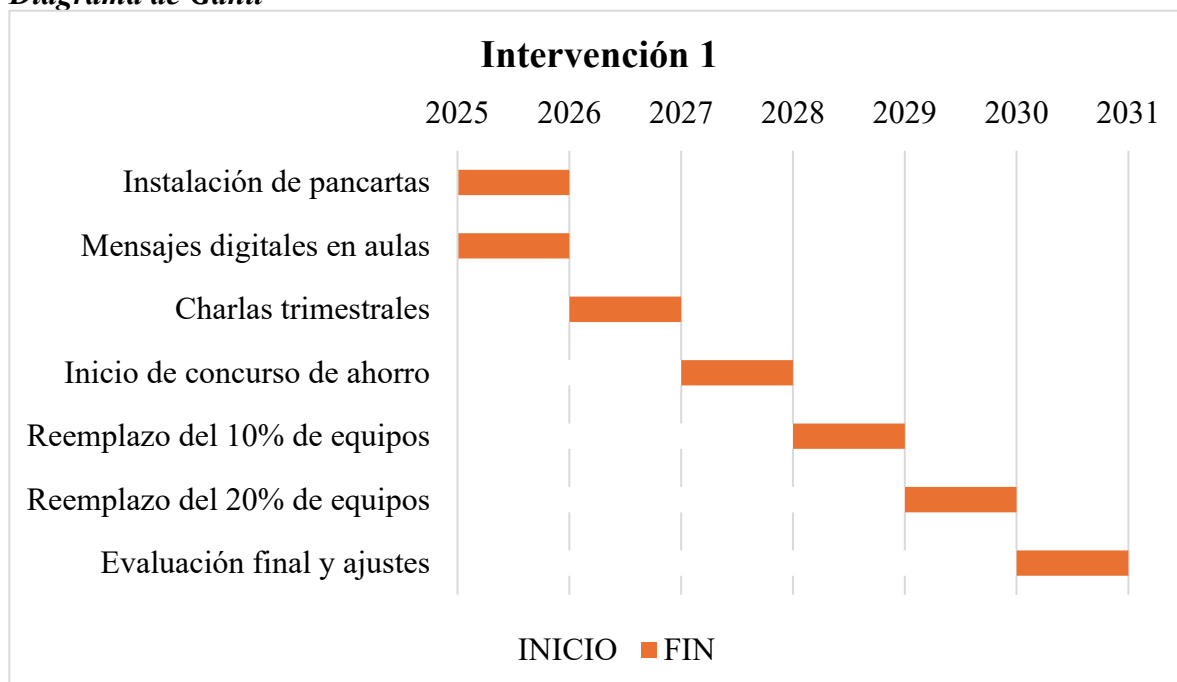
- Meta: sustitución del 30% de equipos electrónicos convencionales de alto consumo por modelos de mayor ahorro.
- Estrategia:
 - Priorizar laboratorios con mayor uso energético.

- Planificar financiamiento (fondos para proyectos ambientales o alianzas con empresas).
 - Inversión estimada:
 - \$21,780 (2028 - 2029, con priorización anual).
5. Concurso "UPSE ahorra energía"
- Dinámica: premiar al departamento o aula que reduzca más su consumo mensual.
 - Premios: bonos simbólicos (libros, certificado, materiales).

1. Cronograma de aplicación.

Año	Actividad	Responsable	Costo estimado
2025	Instalación de pancartas	Administración + estudiantes.	\$200
	Mensajes digitales en aulas.	Departamento de TI.	\$100
2026	Charlas trimestrales.	Facultad de Telecomunicaciones.	\$150
2027	Inicio de concurso de ahorro.	Comité ambiental UPSE.	\$300
2028	Reemplazo del 10% de equipos.	Administración + proveedores.	\$7,260
2029	Reemplazo del 20% de equipos.	Administración + proveedores.	\$14,520
2030	Evaluación final y ajustes.	Rectoría.	\$0

Diagrama de Gantt



Nota: Elaborado por los autores.

Ya detallado la primera intervención, la siguiente involucra a la elaboración de una campaña de reciclaje que tiene como finalidad que se reduzcan los residuos generados en la UPSE en el mismo periodo de tiempo (2025 – 2026) tal como se observa en la tabla 58, esto implica a desechos de plásticos y de papel, así fomentando una cultura con responsabilidad al medio ambiente, esto necesita de actividades que sean realizando con respecto a un cronograma

de los últimos cinco años para evaluar mediante indicadores de desempeño y lograr las metas planteadas.

Tabla 57.
Elaboración de intervención 2.

Actividad planificada:	“Campaña de reciclaje para reducción de residuos en el campus UPSE”
Dirigido a:	Comunidad universitaria.
Fecha de inicio:	Enero – 2026.
Fecha de finalización:	Enero – 2030.
Documento propuesto:	Plan de campaña de reciclaje.
Indicador de desempeño	Porcentaje de reciclaje. Participación estudiantil. Reducción de residuos generales. 60% de plástico y papel en reciclaje.
Meta	Presentación del 80% de facultades en el concurso. Reducción >25% de residuos totales generados.

Objetivo general:

Lograr que los residuos de plástico y papel generados de forma anual en el campus sean reciclados mediante la instalación de infraestructura específica de forma accesible, educativa y de participación actividades por toda la comunidad universitaria.

2. Actividades propuestas.

A. Infraestructura y accesibilidad (2025-2026).

1. Instalación de contenedores de reciclaje.

- Ubicación estratégica:
 - Aulas, laboratorios, cafetería, biblioteca y zonas administrativas (20 cestos ambientales adquiridos).
 - Separación clara: plástico (azul), papel/cartón (verde), orgánico (marrón).
- Inversión:
 - Contenedores de 120L (resistentes): \$100 c/u → \$2,000 total.
 - Señalética explicativa: \$150 (diseño e impresión).

2. Puntos de acopio central.

- Meta: 1 centro de acopio por facultad (total 7 centros).
- Función: recolección masiva para vender/material de proyectos.
- Inversión:
 - Estructuras con protección climática: \$500 c/u → \$3,500 total.

B. Educación y participación (2026-2028).

3. Talleres de reciclaje creativo.

- Frecuencia: bimestral.
- Temas:
 - Transformación de residuos en materiales útiles (cuadernos con papel reciclado).
 - Charlas sobre economía circular.
- Responsables: estudiantes de Ecología y Conservación Ambiental + voluntarios.
- Inversión:
 - Materiales para talleres: \$300 anuales.

4. Concurso "UPSE Recicla".

- Dinámica: premiar a la facultad que más material recicle mensualmente.
- Premios: fondos para proyectos estudiantiles (\$500 al semestre).
- Inversión:
 - Premios: \$1,000 anuales.

C. Proyectos sostenibles (2029-2030).

5. Alianzas con recicladoras locales.

- Meta: vender el material reciclado para generar ingresos de reinversión.
- Costo: transporte (contrato con empresa local).

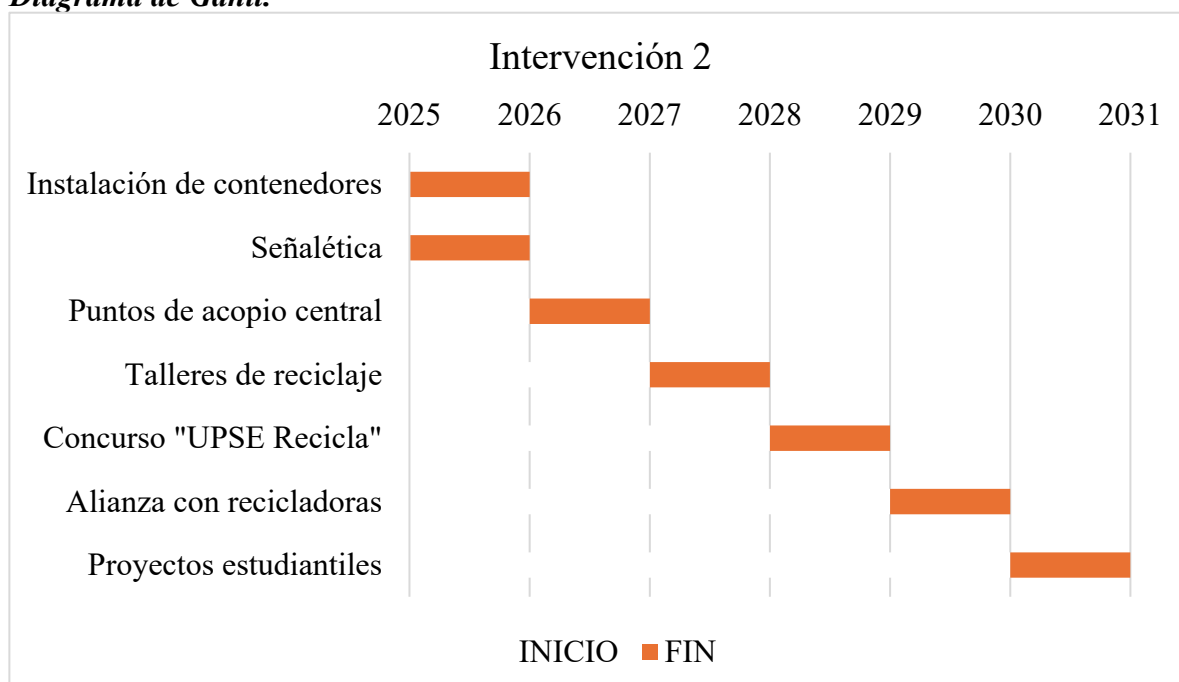
6. Desarrollo de proyectos estudiantiles.

- Fabricación de mobiliario con plástico reciclado (bancas, macetas).
- Compostaje de residuos orgánicos para áreas verdes.

2. Cronograma de aplicación.

Año	Actividad	Responsable	Costo
2025	Instalación de contenedores.	Administración + Servicios.	\$2,000
	Señalética.	Comité Ambiental.	\$150
2026	Puntos de acopio central.	Administración.	\$2,500
2027	Talleres de reciclaje.	Carrera de ecología y conservación ambiental.	\$300
2028	Concurso "UPSE Recicla".	Rectoría.	\$1,000
2029	Alianza con recicladoras.	Dirección de proyección social.	\$2,400
2030	Proyectos estudiantiles.	Clubes académicos.	\$1,500

Diagrama de Gantt.



Nota. Elaborado por los autores.

Con las intervenciones planteados, ya se puede realizar el modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL), que permite el análisis de series temporales para la examinación de las variables ya sea a corto o largo plazo, estos son aplicados al modelo actual de la huella ecológica para la demostración de distintos escenarios en el cálculo de la huella ecológica en el campus matriz.

- **Modelo dinámico con intervenciones (ARDL).**

Ya planteados los términos autorregresivos (AR) que son los valores de la huella ecológica, es necesario indicar los términos distribuidos (DL) que indica los valores que son simuladas cada año del periodo junto a las variables explicativas que son las intervenciones, tal como se describe en la tabla 59.

Tabla 58.
Variables adicionales en modelo ARDL.

Tipo	Variable		Símbolo	Descripción
Flujos	Reducción Reciclaje.	por	ΔR	Flujo de reducción de HE por plan de reciclaje.
	Reducción Energía.	por	ΔE	Flujo de reducción de HE por campaña emergética.
Parámetros	Coefficiente Residuos.	de	δ_1	Impacto del reciclaje en HE.
	Coefficiente Energía.	de	δ_2	Impacto de la campaña en HE.
Intervenciones	Plan de Reciclaje.		X_1	Variable binaria.
	Campaña de Energía.		X_2	Variable binaria.
Salidas	Reducción neta.		Red	Diferencia entre escenarios HE.

Nota. Elaborado por los autores.

Con lo explicado, se plantea la función objetivo del modelo ARDL que es la sumatorio de los cinco factores que involucran a la huella ecológica junto a las intervenciones con rezago y su respectivo coeficiente de impacto y de término de error, esto es descrito de forma detallada a continuación:

$$HE_t = \alpha + \sum_{i=1}^p \beta_i HE_{t-i} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^{q_k} \delta_{k,j} X_{k,t-j} + e_t \quad (\text{ec.10})$$

Donde:

HE_t = Huella ecológica en el año (t).

HE_{t-i} = Valores rezagados de la HE (efecto autorregresivo).

$X_{k,t-j}$ = Variables explicativas (intervenciones) con rezagos.

$\delta_{k,j}$ = Coeficientes de impacto de las intervenciones.

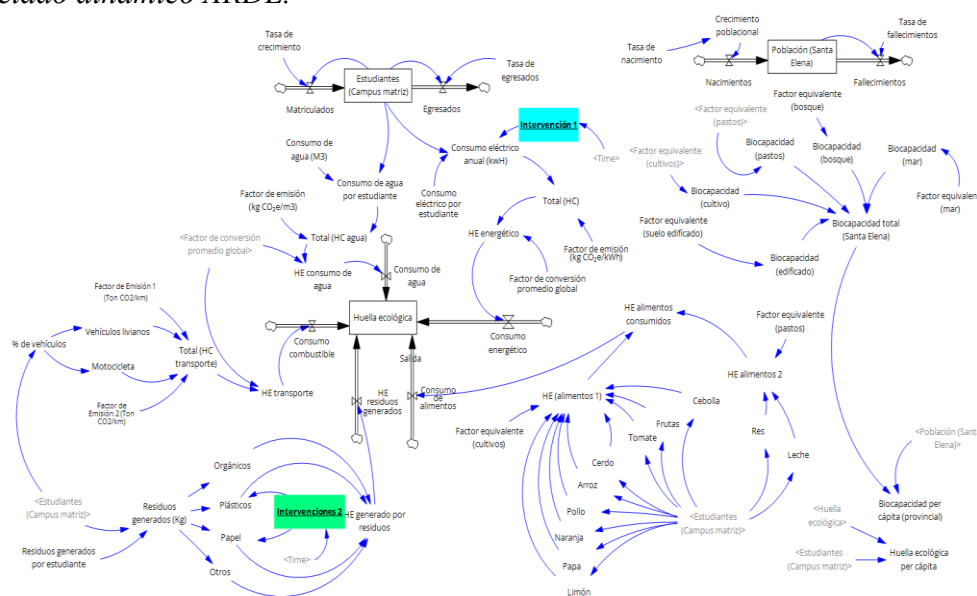
e_t = Término de error.

X_k = Variables de intervenciones.

Los términos distribuidos son agregados a la simulación en Vensim donde se plantea la intervención 1 (reciclaje de residuos de plásticos y papel) e intervención 2 (reducción de consumo energético) lo que provoca una alteración de las variables de la huella ecológica como se observa en la figura 32.

Figura 32.

Modelado dinámico ARDL.

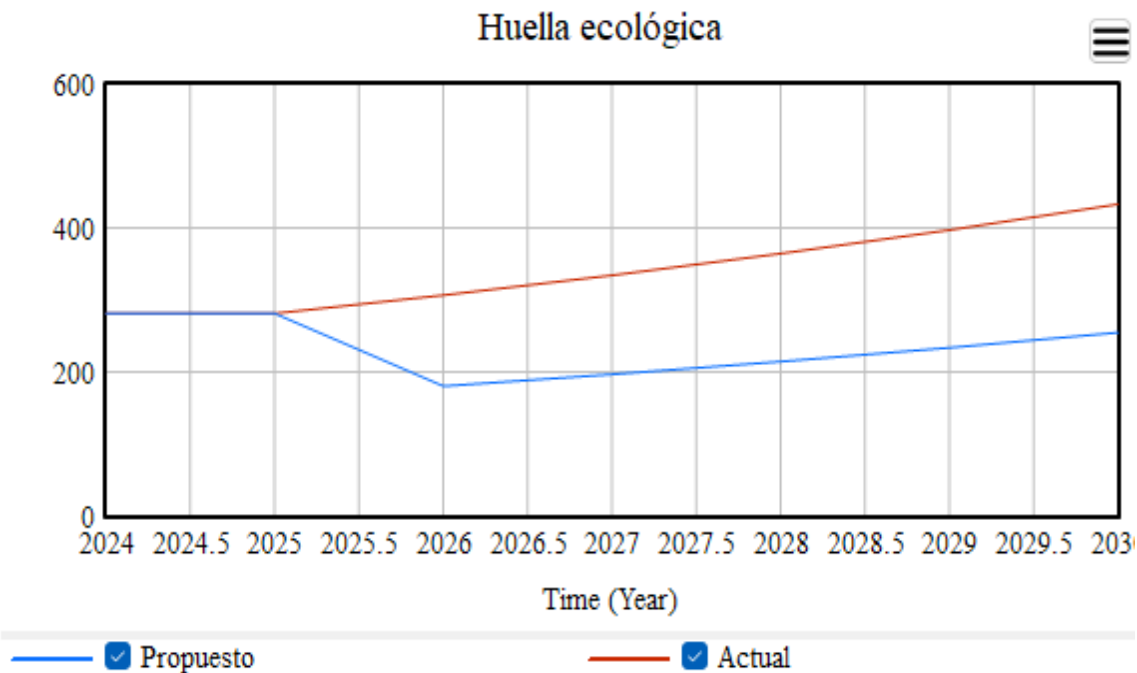


Nota. Elaborado por los autores mediante Vensim.

3.2.7. Simulación de sistemas dinámicos.

Cada intervención X_k tiene su coeficiente δ_k que es el porcentaje de reducción donde para la HE eléctrica es de 15 % en el consumo eléctrico y en HE residuos es una reducción del 60 % para plásticos y papel, para así evaluar la huella ecológica de cada año anterior HE_t con su total de decrecimiento $X_{k,t-j}$, esto provoca que un escenario aplicativo desde el 2025 se haga notorio un variación provocada por la ejecución de estas propuestas y así calcular los indicadores de sostenibilidad como se visualiza en la figura 33.

Figura 33.
Comparación de huella ecológica.



Nota. Elaborado por los autores mediante Vensim.

Como resultado de la comparativa, hay una reducción en la huella ecológica total desde el año 2025 esto señala a una aplicación de las intervenciones lo que provoca una reducción del 41.1 % que tiene un leve crecimiento de la HE desde el 2026 causado por el aumento de estudiantes matriculados de forma exponencial, pero manteniendo las medidas tomadas que son para los residuos a un coeficiente de 60 % y consumo eléctrico en un 15 %, caso contrario se notaría un abrupto aumento de este indicador, es decir, que un mal manejo de estos planes implica en una menor eficiencia de las intervenciones.

$$HE_{propuesto\ final} = HE_{actual\ final} - Intervenciones \quad (ec.11)$$

Como resultados de la aplicación de este modelo econométrico, se observa en la tabla 60, que se indica la huella ecológica actual para cada periodo donde se detalla la HE de inicio y de su culminación, donde hay un crecimiento del 9 % con relación al año anterior. Con el desarrollo de las intervenciones y de su respectiva ejecución se obtiene la reducción (red) de un 41.12 %.

Tabla 59.
Desarrollo de modelo ARDL.

Time (Year)	Huella ecológica (actual)		Intervenciones		Huella ecológica (propuesta)	
	Inicio	Fin	I.1	I.2	Inicio	Fin
2024		281.645	0	0	0	281.645
2025	281.645	306.993	4.911	121.317	281.645	180.766
2026	306.993	334.623	5.353	132.235	180.766	197.035
2027	334.623	364.738	5.834	144.136	197.035	214.768
2028	364.739	397.565	6.359	157.108	214.768	234.098
2029	397.565	433.346	6.932	171.248	234.098	255.166
2030	433.346	472.347	7.556	186.661	255.166	278.130

Nota. Elaborado por los autores mediante Vensim.

Con el apoyo de Vensim se registran los valores cálculos para las variables necesarias para el análisis en la tabla 61, donde el año 2025 termina con una HE de 306.993 que las intervenciones influyentes se reduce a 180.766 y así hasta 3030 que es periodo final del seguimiento de los planes establecidos para reducción de consumo energético y del reciclaje de residuos, donde culmina con 472.347 hag y con las propuesta se consigue un total de 278.130 hag, demostrando la eficiencia del modelo dinámico en serie de cálculo de la huella ecológica del campus UPSE, además, se señala la reducción por año y del aumento.

Tabla 60.
Comparativa de escenarios.

Año	Huella ecológica		Reducción	Aumento
	Actual	Propuesto		
2024	281.645	281.645	169	
2025	306.993	180.7656	126.228	0%
2026	334.623	197.034979	137.588	8.3%
2027	364.738	214.767838	149.970	8.3%
2028	397.565	234.097736	163.467	8.3%
2029	433.346	255.165916	178.180	8.3%
2030	472.347	278.13041	194.217	8.3%

Nota. Elaborado por los autores mediante Vensim.

El rango de reducción es de 126.22 hag en el de 2025 hasta 194.21 hag a final del 2030 en un escenario optimista donde se cumplan las actividades planificadas de las intervenciones permitiendo que el aumento anual sea del 8.3 %, por lo tanto, es posible una reducción constante antes malas prácticas o falta de cooperación tanto por los estudiantes como la administración universitaria, esto afecta un alza de la huella ecológica provocando que la eficiencia del cálculo sea alterada por nuevas variables que no han sido tomadas en cuenta. Sin embargo, se cumple con la finalidad del estudio que es la visualización del comportamiento de los factores que involucran a instalaciones de educación superior.

3.3. Presupuesto.

Para una futura aplicación ya sea en la institución destinada o en otras universidades, se plantea un presupuesto necesario para su adopción de esta metodología de cálculo de huella ecológica donde se señala distintos rubros necesarios junto a la cantidad y costo de cada ítem como se observa en la tabla 62.

Tabla 61.
Presupuesto de investigación

Ítem	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
a. Recursos humanos.			
Honorarios de modelador.	2	\$ 1050.00	\$ 2,100.00
b. Tecnología.			
Licencia Vensim DDS.	1	\$ 798.00	\$ 798.00
Plataforma digital de registro.	1	\$ 1,500.00	\$ 1,500.00
c. Equipos.			
Sensores de energía.	3	\$ 400.00	\$ 1,200.00
Sensores de agua.	2	\$ 400.00	
d. Materiales e insumos.			
Materiales de laboratorio (análisis).	5	\$ 220.00	\$ 1,100.00
Impresión de informes técnicos.	50	\$ 16.00	\$ 800.00
e. Herramientas.			
Desarrollo de infografía interactiva.	1	\$ 673.43	\$ 673.43
f. Transporte.			
Combustible y logística interna.	1	\$ 800.00	\$ 800.00
g. Otros.			
Auditoría externa (ISO 14064).	1	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00
Talleres de capacitación.	1	\$ 1,200.00	\$ 1,200.00
		Subtotal	\$ 12,2171.43
		Imprevistos 5%	\$ 608.57
		Total	\$ 12,780.00

Nota. Elaborado por los autores.

Se obtiene un total de \$ 12,780.00 a partir de la suma de los ítems de las categorías como recursos humanos, tecnología, equipos, materiales e insumos, herramientas, transporte y otras necesidades para la elaboración y adopción y de un porcentaje por imprevistos que se presentes durante su posible aplicación. Para verificar la rentabilidad de la investigación se utilizan indicadores financieros mediante una caja de flujo (tabla 63) señalando un flujo neto a lo largo de cinco años.

Tabla 62.
Flujo de caja.

	Flujo Neto de Caja					
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión del proyecto.	-\$12,780.00					
Flujo neto de caja.	\$-12,780.00	\$1,851.35	\$4,268.80	\$4,933.63	\$5,963.63	\$8,506.89

Nota. Elaborado por los autores.

Con el flujo neto de caja se calculan los indicadores como el valor actual neto (VAN) para conocer el valor que genera sobre el costo de inversión, de los flujos futuros sin restar el presupuesto (VNA), así mismo la tasa de retorno (TIR) interno como representación de la rentabilidad porcentual anual, además del tiempo requerido para recuperar la inversión inicial (PB), estos cálculos se presentan en la tabla 64 donde se especifica su ecuación y resultado.

Tabla 63.
Resultados de indicadores financieros.

Indicador	Ecuación	Resultado
Valor actual neto (VAN).	$VAN = \sum \left(\frac{\text{Flujo neto en el periodo } t}{(1+r)^t} - \text{Inversión inicial} \right)$	\$2,941
Valor neto actualizado (VNA).	$VNA = \sum \left(\frac{\text{Flujo neto}}{(1+r)^t} \right)$	\$15,720.80
Tasa de retorno interno (TIR).	$\sum \left(\frac{\text{Flujo neto}}{(1+TIR)^t} \right) - \text{Inversión inicial}$	22.48%
Periodo de recuperación (PB).	$PB = \text{Año anterior a la recuperación total} + \left(\frac{\text{Inversión no recuperada al inicio de año}}{\text{Flujo del año}} \right)$	3.35 años

Nota. Elaborado por los autores.

Como resultados se tiene un VAN positivo de \$2,941 que representa que el proyecto llega a generar un beneficio neto después de la recuperación de la inversión inicial y sí poder cubrir el costo capital o tasa de interés del 15 %. El VNA se confirma que los flujos futuros mantienen un valor alto presente, lo que respalda al proyecto junto a la tasa de retorno es de 22.4 8% que el mayor al 15 % de costo de capital, lo que indica un margen de seguridad, por lo tanto, el proyecto es viable. Como último, la inversión se recupera en 3 años y 4 meses lo que implica una rápida recuperación y que la exposición a incertidumbres futura o riesgo de liquidez es baja.

3.4. Marco de discusión.

En el desarrollo del capítulo I, se estableció un estado del arte que implica una revisión sistemática para la selección de registros con relación a la variable de estudio mediante la selección de base de datos como son Scopus, Web of Science y de Dimensions (tabla 1) donde se estableció criterios donde se eligió artículos de investigación que han sido publicados en los últimos cinco años, esto obtuvo un total de 41 estudios. Se identificó la influencia del enfoque mixto debido a una mayor utilización de técnicas que fueron evaluadas mediante un proceso analítico jerárquico (AHP) que calificó mediante juicios que métodos como ARDL mantiene una mayor influencia con el 33.06 %, luego continúan los modelos dinámicos (M.D), además de técnicas de recolección de datos como las encuestas (EN) y así mismo este método es

utilizado para las herramientas como el análisis de series temporales, de cuestionarios, programas como Vensim, además de guía de entrevista lo que implica el uso de la técnicas Encuesta (ENT). Con los resultados del estado del arte se responden a las preguntas de investigación y se establece de un protocolo de investigación (figura 10) que se detalla los niveles para llegar a la solución.

Para el capítulo II, se realiza la metodología necesaria para el desarrollo de la investigación, se inicia con la aplicación del enfoque mixto para la obtención de información cuantificable como de interpretación, esto lleva un diseño secuencial DEXPLIS que se especifica por la recolección de datos cuantitativo a los participantes que son 1906 universitarios. Como método utilizado con la recolección de datos es analítico que busca descomponer el objeto de investigación y obtener una descripción detallada y ordenada de las variables indicadas. Las técnicas empleadas son la encuesta mediante un cuestionario que validado por criterio de expertos que son seleccionados por criterios de inclusión, además de evaluar su confiabilidad para conocer el nivel de consistencia interna mediante el uso de alfa de Cronbach, para la entrevista se especifica a un profesional con conocimientos al tema de investigación y del apoyo de una guía de entrevista

En el capítulo III se calcula la huella ecológica de la UPSE considerando electricidad, agua, alimentos, residuos y combustible. Se obtienen 30.03 hag por consumo energético, 3.57 hag por agua, 206.14 hag por residuos, 41.57 hag por alimentos (destacando carne, arroz y pollo), y 0.289 hag por transporte. La huella total es de 281.61 hag, equivalente a 0.027 hag por estudiante. Comparado con la biocapacidad provincial (1.48 hag), se evidencia una reserva ecológica y un nivel de sostenibilidad fuerte (0.98).

Con el uso del programa Vensim se introducen las variables para completar el cálculo de la huella ecológica para una simulación de cinco años en la cual se obtiene que en el 2030 un aumento del 54%, es decir, 345.78 hag y como he per cápita es de 0.9822, lo cual la señala una mayor cantidad de recursos que se demandará a la biocapacidad provincial, entonces se proponen 2 intervenciones que es un “Programa de concientización sobre el consumo de energía eléctrica en el campus UPSE” que tiene como meta la reducción del 15 % de uso de electricidad convencional y de “Campana de reciclaje para reducción en el campus” que busca que el 60 % de los residuos plásticos y papel sean reciclados lo que conlleva al más del 25 % del total generado. Con esto establecido, se realiza el modelo ARDL que utilizan los términos autorregresivos y distribuidos para identificar las variaciones entre escenarios donde se

consigue la reducción del 41.12 % de la huella ecológica y de un aumento anual solo del 8.3 %. Para aplicación de esta metodología se plantea un presupuesto de \$12,780 junto a una caja de flujo donde se obtiene una VAN de \$2,941 con un TIR de 22.48% que refleja una rentabilidad de la investigación con una recuperación de la inversión de 3 años y 4 meses.

3.5. Limitaciones del estudio.

Es necesario recalcar que el cálculo de la huella ecológica conlleva a una amplia disposición de información específica de la institución, cuestión que el apoyo de la UPSE es fundamental para elaborar una modelación con mayor precisión de datos. Caso contrario, que existió una ausencia de documentación o registros como es del consumo de agua, esto perjudica al desarrollo del trabajo de investigación. Por lo tanto, se debe priorizar comunicar a las autoridades pertinentes sobre el nivel de importancia antes los datos fundamentales teniendo en cuenta en no solicitar información delicada que afecte al campus universitario.

3.6. Futuras líneas de investigación.

A partir de los resultados que se han obtenidos y del enfoque de la investigación establecido para el estudio, se identifica oportunidades en la profundización de la investigación sobre metodologías de la huella ecológica en instituciones. Una línea principal a futuro se orienta en el desarrollo de modelos de simulación más detallados y sectorizados, que represente con mayor precisión las áreas críticas del entorno como bloque con mayor consumo de energía o suministro de agua. Así mismo, la necesidad de integrar variables exógenas que influyan de forma directa o indirecta en el sistema dinámico como son el cambio de matriz energético o de nuevas regulaciones ambiental en un periodo más extenso.

CONCLUSIONES

La aplicación del método ProKnow – C permite la elaboración de portafolios bibliográficos con un total de 41 artículos de investigación que son seleccionados en base a criterios de inclusión y exclusión. Además, el proceso AHP fue clave para la evaluación y selección de las técnicas para su utilización en la metodología, donde los métodos ARDL (M.AR) fue escogido con el 33.06 % que indica la mayor predominancia junto a modelos dinámicos (M.D) y la encuesta (EN). Esto permitió responder a las preguntas planteadas y elaborar un protocolo de investigación.

Se aplicó un marco metodológico que tiene un enfoque mixto con un diseño secuencial (DEXPLIS) que estructura para la recolección de datos que inicia con el desarrollo de la encuesta a 1906 estudiantes universitarios con un cuestionario de preguntas cerradas validado por expertos y de la entrevista con una guía dirigida a un especialista del campo científico asociado al campus matriz UPSE para la obtención de opiniones, criterios en base a su conocimiento sobre la modelación dinámica. Además, los resultados cuantitativos se evaluó su consistencia interna mediante alfa de Cronbach.

La validación de instrumento fue calificada como aceptable lo que permitió su ejecución, donde sus resultados de la recolección de datos (fase 1) son tabulados y evaluados que dio un alfa de Cronbach de 0.811 que consideró que la consistencia interna es “bueno” que demuestra que el cuestionario es coherente y relacionada a la variable de estudio y con las pruebas de normalidad que demuestra a variabilidad de los datos que sustenta una falta de consolidación en prácticas favorables al medio ambiente. En la fase 2, con el cálculo de la huella ecológica en base a información obtenida dentro del campus se obtiene un total de 281.61 hag que es el consumo de recurso de las instalaciones de forma anual donde la generación de residuos es el componente con mayor proporción con el 73.2 %, se consigue que la HE per cápita es de 0.027 hag/estudiante que junto a la biocapacidad provincial de 1.48 hag/persona dando en la fase 3 la presencia de un residuo ecológico (RE) de 1.45 y un nivel fuerte de sostenibilidad de 0.98 evidenciado en la fase 4. Esto sustenta que las instalaciones dependen de recursos externos (fase 5). Con la modelación dinámica con ARDL se elaboran dos escenarios con y sin intervención o propuestas de reducción que se simuló con Vensim dando un resultado favorable con una disminución del 41.12 % de la HE en un periodo desde 2025 al 2030 y de un presupuesto de \$12,780.00 demostrando su rentabilidad con un TIR del 22.48 % en un periodo de recuperación de 3.35 años después de la inversión señalada.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que la elaboración de un método de selección de fuentes bibliográficas como ProKnow – C sean mediante un procedimiento detallado para la identificación de registros con influencia al tema de investigación, pero es necesario acoplarlo con el análisis bibliométrico para el estudio de campo científico y de las redes colaborativas en la producción de publicaciones y así comprender el interés de los autores. Además, que el uso de AHP permite la evaluación y selección de las técnicas y herramientas establecidas en los artículos y que sea acoplada al protocolo del estudio.

Para un correcto desarrollo del marco metodológico, es importante establecer un enfoque investigativo mixto junto a diseño secuencial (DEXPLIS) ya que permite la obtención de resultados cuantificable e interpretativos de forma planificada, esto involucra a tener un correcto protocolo que estructure el desarrollo del estudio. Además, se sugiere utilizar encuestas mediante uso de programas que puedan ser enviadas a grandes cantidades de participantes como Google Forms para una obtención de alto volúmenes de respuesta que sustenten la elaboración de la metodología de cálculo de la HE.

Para llevar a cabo el cálculo de la huella ecológica en el campus matriz, es necesario de la adquisición de información de fuentes que otorguen datos o registros vinculados a los componentes de este indicador para que los resultados tenga una mayor precisión. Por otro lado, a la aplicación de la simulación de escenarios con análisis de series temporales permite identificar la variabilidad de la HE junto a la intervención de propuestas y de su respectivo comportamiento dentro de las instalaciones y se verifique como la metodología elaborada interactúa a posibles cambios que alteren a la variable o que sea adoptada a distintas instituciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo-Ramos, J. A., Valencia, C. F., & Valencia, C. D. (2023). The Environmental Kuznets Curve Hypothesis for Colombia: Impact of Economic Development on Greenhouse Gas Emissions and Ecological Footprint. *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 3738, 15(4)*, 3738. <https://doi.org/10.3390/SU15043738>
- Adjei, R., Addaney, M., & Danquah, L. (2021). The ecological footprint and environmental sustainability of students of a public university in Ghana: developing ecologically sustainable practices. *International Journal of Sustainability in Higher Education, 22(7)*, 1552–1572. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-08-2020-0318/FULL/XML>
- Aguirre, M. G., Rodríguez, J. C., & Rodríguez-Benavides, D. (2024). La influencia de la desigualdad de ingresos y la actividad patentadora sobre la huella ecológica en América Latina: un análisis de datos de panel. *Paradigma Económico, 16(2)*, 137–158. <https://doi.org/10.36677/PARADIGMAECONOMICO.V2I2.22012>
- Alejandro García, S. (2022). Educación ambiental para la sustentabilidad, una apuesta desde la pedagogía crítica y sentipensante. *Revista CoPaLa, Construyendo Paz Latinoamericana, Número 14(14)*, 67–76. <https://doi.org/10.35600/25008870.2022.14.0214>
- Allaica, J. C. M., & Molina, D. B. T. (2024). Propuesta de marco para la evaluación de la sostenibilidad organizacional de las PyMEs agroalimentarias. *Arandu UTIC, 11(2)*, 161–187. <https://doi.org/10.69639/ARANDU.V11I2.256>
- Altıntaş, N., Kırca, M., Acar, S., Aydın, A., & Öztürk, M. (2023). Time-varying causality between income inequality and ecological footprint in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research, 30(5)*, 11785–11797. <https://doi.org/10.1007/S11356-022-22910-3/METRICS>
- Alvarado, R., Tillaguango, B., Dagar, V., Ahmad, M., Işık, C., Méndez, P., & Toledo, E. (2021). Ecological footprint, economic complexity and natural resources rents in Latin America: Empirical evidence using quantile regressions. *Journal of Cleaner Production, 318*, 128585. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128585>
- Amin, W., Xie, S., & Rauf, A. (2025). Analyzing the interplay between money supply, mineral extraction, industrialization, and ecological footprint in latin America's global south: A symmetrical perspective. *Resources Policy, 100*, 105422. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2024.105422>
- Aminizadeh, M., Mohammadi, H., & Karbasi, A. (2024). Determinants of fishing grounds footprint: Evidence from dynamic spatial Durbin model. *Marine Pollution Bulletin, 202*, 116364. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2024.116364>
- Amowine, N., Li, H., Boamah, K. B., & Zhou, Z. (2021). Towards Ecological Sustainability: Assessing Dynamic Total-Factor Ecology Efficiency in Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health 2021, Vol. 18, Page 9323, 18(17)*, 9323. <https://doi.org/10.3390/IJERPH18179323>
- Añazco, S. J. G., Sánchez, J. N. M., & Villacis, M. P. E. (2021). Universidad y Medio Ambiente. Retos y desafíos hacia el desarrollo sostenible. Caso Universidad Metropolitana sede Machala. *INNOVA Research Journal, 6(3.2)*, 14–31. <https://doi.org/10.33890/innova.v6.n3.2.2021.1914>

- Arbeláez Rodríguez, G. del R., Lascano Escobar, G. E., Chasiguasin Yanchatipan, A., Erazo Mejía, J. M., Bilbao Medrano, K. S., & González Escudero, M. A. (2022). Trascendencia de los Comités de Ética de Investigación en Seres Humanos en el Ecuador. *Cambios rev. méd*, 746–746. <https://doi.org/10.36015/CAMBIOS.V21.N1.2022.746>
- Arof, K. Z. M., Ismail, S., & Saleh, A. L. (2018). Contractor's performance appraisal system in the Malaysian construction industry: Current practice, perception and understanding. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 7(3), 46–51. <https://doi.org/10.14419/IJET.V7I3.9.15272>
- Avella-Chacón, S. M., Tovar-Gálvez, J. C., Espinosa-Barrera, P. A., & Martínez-Pachón, D. (2024). Orientación socio ocupacional en la educación rural: análisis bibliométrico y sistemático desde el Método Proknow-c. *REOP - Revista Española de Orientación y Psicopedagogía*, 35(1), 138–158. <https://doi.org/10.5944/REOP.VOL.35.NUM.1.2024.40834>
- Behera, B., Behera, P., Sucharita, S., & Sethi, N. (2024). Mitigating ecological footprint in BRICS countries: unveiling the role of disaggregated clean energy, green technology innovation and political stability. *Discover Sustainability*, 5(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/S43621-024-00378-0/FIGURES/3>
- Belén, M., Valle, A., & Marimon, F. (2025). Las instituciones argentinas de educación superior, ¿impulsan la sostenibilidad? *Revista Andina de Educación*, 8(1), 000812–000812. <https://doi.org/10.32719/26312816.2024.8.1.2>
- Belloc, I., & Molina, J. A. (2023). Are greenhouse gas emissions converging in Latin America? Implications for environmental policies. *Economic Analysis and Policy*, 77, 337–356. <https://doi.org/10.1016/J.EAP.2022.11.022>
- Bin, L., Jiang, R., Cao, Y., Xu, K., & Han, Z. (2023). Dynamic change and prediction of ecological footprint of water resources in Beijing-Tianjin-Hebei region. *Water Resources Protection*, 39(5), 32–38 and 57. <https://doi.org/10.3880/j.issn.1004-6933.2023.05.005>
- Borges-Matos, C., Pequeno, P. A. C. L., Ferreira de Siqueira, M., & Metzger, J. P. (2025). A new methodological framework to assess ecological equivalence in compensation schemes. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26, 100595. <https://doi.org/10.1016/J.INDIC.2025.100595>
- Calle, J. C. G., & Orozco, Y. V. (2022). La huella ecológica, indicador de sostenibilidad ambiental y social. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 4156–4175. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V6I1.1791
- Chakraborty, D. (2024). Recycled Paper from Wastes: Calculation of Ecological Footprint of an Energy-Intensive Industrial Unit in Orissa, India. *Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes*, 259–282. https://doi.org/10.1007/978-981-287-643-0_10
- Chen, X., Zhang, S., & Xu, J. (2025). A modelling approach to characterise the interaction between behavioral response and epidemics: A study based on COVID-19. *Infectious Disease Modelling*, 10(2), 477–492. <https://doi.org/10.1016/J.IDM.2024.12.013>
- Chi, J. (2024). Exploring the drivers of ecological footprint: Impacts of road transportation infrastructure, transport tax, and environment technologies. *International Journal of Sustainable Transportation*. <https://doi.org/10.1080/15568318.2024.2423726>

- Colangelo, S. (2024). Reducing the environmental footprint of glass manufacturing. *International Journal of Applied Glass Science*, 15(4), 350–366. <https://doi.org/10.1111/IJAG.16674>;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:20411294;JOURNAL:JOURNAL:20411294;WGROUPE:STRING:PUBLICATION
- Coloma-Martínez, J. G., Coloma-Martínez, J. G., & Manzano-Vela, D. R. (2022). Cálculo de la huella ecológica y su influencia en la evaluación del impacto ambiental. *Polo del Conocimiento*, 7(3), 174–189. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i3.3724>
- Danish, Hassan, S. T., Baloch, M. A., Mahmood, N., & Zhang, J. W. (2019). Linking economic growth and ecological footprint through human capital and biocapacity. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101516. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2019.101516>
- del Cid, A., & Méndez, R. (2011). *Investigación: Fundamentos y metodología*. Pearson Educación.
- De-Leo, E., Aranda, D., & Andrés-Addati, G. (2020). Introducción a la dinámica de sistemas. *EconStor*, 739.
- Dobos, I., & Tóth-Bozó, B. (2024). Ecological Footprint Calculation as a Land Demand: Based on the Dynamic Leontief Model. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 32(2), 103–114. <https://doi.org/10.3311/PPSO.21257>
- Durán-Peralta, E., Acuayte-Valdes, E., Acuayte-Valdes, M. del C., Hernández-López, J. C., & López-Cruz, I. L. (2022). modelación y simulación matemáticas: una herramienta para la protección de cultivos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(6), 1129–1140. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i6.2922>
- Edelsbrunner, P. A., Simonsmeier, B. A., & Schneider, M. (2025). The Cronbach's Alpha of Domain-Specific Knowledge Tests Before and After Learning: A Meta-Analysis of Published Studies. *Educational Psychology Review* 2025 37:1, 37(1), 1–43. <https://doi.org/10.1007/S10648-024-09982-Y>
- Estrada-Esponda, R. D., López-Benítez, M., Matturro, G., & Osorio-Gómez, J. C. (2024). Selection of software agile practices using Analytic hierarchy process. *Heliyon*, 10(1), e22948. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22948>
- Eufrasio Espinosa, R. M., & Lenny Koh, S. C. (2024a). Forecasting the ecological footprint of G20 countries in the next 30 years. *Scientific Reports* 2024 14:1, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57994-z>
- Eufrasio Espinosa, R. M., & Lenny Koh, S. C. (2024b). Forecasting the ecological footprint of G20 countries in the next 30 years. *Scientific Reports* 2024 14:1, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57994-z>
- European Environment Agency. (2023). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023*. <https://doi.org/10.2800/795737>
- Evans, K. D., & Xu, M. (2023). Data: Planning, Collecting, and Analyzing. *Journal of Diagnostic Medical Sonography*, 39(2), 93–94. https://doi.org/10.1177/87564793221137547/ASSET/C46C4FDD-2812-4676-BA42-B7CB71B2E3DF/ASSETS/IMAGES/LARGE/10.1177_87564793221137547-FIG1.JPG
- Fernández, M., Cebrián, G., Regadera, E., & Fernández, M. Y. (2020). Analysing the Relationship between University Students' Ecological Footprint and Their Connection with Nature and Pro-Environmental Attitude. *International Journal of Environmental*

- Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 8826, 17(23), 8826.
<https://doi.org/10.3390/IJERPH17238826>
- Giannetti, B. F., Alves-Pinto Junior, M. J., Chirinos-Marroquín, M., Velazquez, L., Munguia, N., Agostinho, F., Almeida, C. M. V. B., Lombardi, G., & Liu, G. (2025). Sustainability in Universities: The Triad of Ecological Footprint, Happiness, and Academic Performance Among Brazilian and International Students. *Sustainability (Switzerland)*, 17(3), 950. <https://doi.org/10.3390/SU17030950/S1>
- Global Footprint Network. (2024). *Base de datos de huella ecológica de Ecuador*. <https://www.footprintnetwork.org/>
- Gómez, M., & Rodríguez, J. C. (2024). Analysis of the Convergence of Environmental Sustainability and Its Main Determinants: The Case of the Americas (1990–2022). *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 6819, 16(16), 6819. <https://doi.org/10.3390/SU16166819>
- Guan, D., Jiang, Y., Yan, L., Zhou, J., He, X., Yin, B., & Zhou, L. (2022). Calculation of ecological compensation amount in Yangtze River Basin based on ecological footprint[基于生态足迹视角的长江流域生态补偿额度测算]. *Shengtai Xuebao*, 42(20), 8169–8183. <https://doi.org/10.5846/stxb202010282764>
- Guillén-Chávez, S. (2023). Universidades líderes en sostenibilidad: un análisis de las iniciativas de huella de carbono en Latinoamérica. *South Sustainability*, 4(2), e081–e081. <https://doi.org/10.21142/SS-0402-2023-e081>
- Guo, J., Ren, J., Huang, X., He, G., Shi, Y., & Zhou, H. (2020). The Dynamic Evolution of the Ecological Footprint and Ecological Capacity of Qinghai Province. *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 3065, 12(7), 3065. <https://doi.org/10.3390/SU12073065>
- Haynes-Brown, T. K. (2025). The role of sampling in an explanatory sequential mixed methods study: General applications of the transformative paradigm. *Methods in Psychology*, 12, 100176. <https://doi.org/10.1016/J.METIP.2025.100176>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., María del Pilar Baptista Lucio, D., & Méndez Valencia Christian Paulina Mendoza Torres, S. (2018). *Metodología de la investigación*. McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Hosseini, M.-S., Jahanshahloo, F., Akbarzadeh, M. A., Zarei, M., & Vaez-Gharamaleki, Y. (2024). Formulating research questions for evidence-based studies. *Journal of Medicine, Surgery, and Public Health*, 2, 100046. <https://doi.org/10.1016/J.GLMEDI.2023.100046>
- Hu, X., Dong, C., & Zhang, Y. (2024). Dynamic evolution of the ecological footprint of arable land in the Yellow and Huaihai Main grain producing area based on structural equation modeling and analysis of driving factors. *Ecological Informatics*, 82, 102720. <https://doi.org/10.1016/J.ECOINF.2024.102720>
- Huamani Peralta, A., & Quispe Mamani, J. C. (2024). The Ecological Footprint of the National University of the Altiplano, Peru: A Tool for Sustainable Management. *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 6672, 16(15), 6672. <https://doi.org/10.3390/SU16156672>
- Ilbay, M., Ruiz, J., Cueva, E., Ortiz, V., & Morales, D. (2021). Empirical Model for Estimating the Ecological Footprint in Ecuador Based on Demographic, Economic and Environmental Indicators. *Journal of Ecological Engineering*, 22(5), 59–67. <https://doi.org/10.12911/22998993/135868>

- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* - *Introducción*. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf
- Jiang, L., Wu, Y., He, X., Fu, Q., Wang, Z., & Jiang, Q. (2022). Dynamic simulation and coupling coordination evaluation of water footprint sustainability system in Heilongjiang province, China: A combined system dynamics and coupled coordination degree model. *Journal of Cleaner Production*, 380, 135044. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135044>
- Kairuz, T., Crump, K., & O'Brien, A. (2024). Tools for data collection and analysis. *Pharmaceutical Journal*, 278(7445), 43–50. https://doi.org/10.1007/978-3-031-55704-0_4/TABLES/2
- Kerdsap, T., Tanpichai, P., & Yingyuad, N. (2023). Reducing the Ecological Footprint in a University Farm through Environmental Education Process. *EnvironmentAsia*, 16(3), 15–25. <https://doi.org/10.14456/EA.2023.32>
- Khan, K. S., Bueno Cavanillas, A., & Zamora, J. (2022). Revisión sistemática en cinco pasos: I. Cómo formular una pregunta para la que se pueda obtener una respuesta válida. *Medicina de Familia. SEMERGEN*, 48(5), 356–361. <https://doi.org/10.1016/J.SEMERG.2021.12.005>
- Khan, Y., Khan, M. A., & Zafar, S. (2023). Dynamic linkages among energy consumption, urbanization and ecological footprint: empirical evidence from NARDL approach. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 34(6), 1534–1554. <https://doi.org/10.1108/MEQ-10-2022-0278/FULL/XML>
- Khidhir, R. J., & Rassul, T. H. (2023). Assessing the Validity of Experts' Value Judgment over Research Instruments. *Zanco Journal of Human Sciences*, 27(5), 324–343. <https://doi.org/10.21271/ZJHS.27.5.21>
- Kirner-Ludwig, M. (2022). Data collection methods applied in studies in the journal *Intercultural Pragmatics* (2004-2020): a scientometric survey and mixed corpus study. *Intercultural Pragmatics*, 19(4), 459–487. https://doi.org/10.1515/IP-2022-4002/ASSET/GRAPHIC/J_IP-2022-4002_FIG_010.JPG
- Kutlar, A., Gulmez, A., Kabasakal, A., & Kutlar, S. (2022). Ecological footprint, energy usage, and economic progress relationship: the MINT countries. *Economic Research-Ekonomska Istrazivanja*, 35(1), 4457–4480. https://doi.org/10.1080/1331677X.2021.2013279/ASSET/283CF181-4F0A-4314-B1CB-CDE6E2DBC7B4/ASSETS/GRAPHIC/RERO_A_2013279_F0002_C.JPG
- Liu, C., Shang, J., & Liu, C. (2023). Exploring Household Food Waste Reduction for Carbon Footprint Mitigation: A Case Study in Shanghai, China. *Foods* 2023, Vol. 12, Page 3211, 12(17), 3211. <https://doi.org/10.3390/FOODS12173211>
- Liu, C., & Yang, M. (2020). An empirical analysis of dynamic changes in ecological sustainability and its relationship with urbanization in a coastal city: The case of Xiamen in China. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120482. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120482>
- Liu, J., Wang, H., & Zhao, Z. (2024). Improvement and application of the ecological footprint calculation Method—A case study of a Chinese university. *Journal of Cleaner Production*, 450, 141893. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2024.141893>

- Lorenzini, E., Osorio-Galeano, S. P., Schmidt, C. R., Cañon-Montañez, W., Lorenzini, E., Osorio-Galeano, S. P., Schmidt, C. R., & Cañon-Montañez, W. (2024). Practical Guide to Achieve Rigor and Data Integration in Mixed Methods Research. *Investigación y Educación en Enfermería*, 42(3). <https://doi.org/10.17533/UDEA.IEE.V42N3E02>
- Lu, J., & Chen, H. (2023). Dynamic Evaluation and Forecasting Analysis of Touristic Ecological Carrying Capacity of Forest Parks in China. *Forests* 2024, Vol. 15, Page 38, 15(1), 38. <https://doi.org/10.3390/F15010038>
- Ma, H., Liu, Y., Li, Z., & Wang, Q. (2022). Influencing factors and multi-scenario prediction of China's ecological footprint based on the STIRPAT model. *Ecological Informatics*, 69, 101664. <https://doi.org/10.1016/J.ECOINF.2022.101664>
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*, 8, 14. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2020.00014>
- Mantilla-Falcón, M., Dayana Ruiz-Erazo, ;, Alex, ;, & Mantilla-Miranda, S. (2024). Huella ecológica y zonas bioproductivas. Una mirada desde la economía ecuatoriana. *CIENCIA UNEMI*, 17(44), 52–64. <https://doi.org/10.29076/ISSN.2528-7737VOL17ISS44.2024PP52-64P>
- Maués, L. M. F., Moreira, F. de S., Cordeiro, L. de N. P., Saraiva, R. L. de P., Santos Junior, P. C. dos, & Pinheiro, O. M. P. (2022). Impact on Education and Ecological Footprint as a Consequence of SARS-CoV-2 in the Perception of the Quality of Teaching Engineering Students in the Brazilian Amazon. *Sustainability (Switzerland)*, 14(16), 9891. <https://doi.org/10.3390/SU14169891/S1>
- Menendez, H. M., Atzori, A., Brennan, J., & Tedeschi, L. O. (2023). Using dynamic modelling to enhance the assessment of the beef water footprint. *animal*, 17, 100808. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100808>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021). *Inician las primeras exportaciones de arroz con destino a Colombia*. <https://www.agricultura.gob.ec/inician-las-primeras-exportaciones-de-arroz-con-destino-a-colombia/>
- Muñoz, A. L., & Sánchez, Y. F. (2024). *Huella ecológica y estresores ambientales en los hogares de la Provincia Los Ríos*.
- Nathaniel, S. P., Ahmed, Z., Shamansurova, Z., & Fakher, H. A. (2024). Linking clean energy consumption, globalization, and financial development to the ecological footprint in a developing country: Insights from the novel dynamic ARDL simulation techniques. *Heliyon*, 10(5). https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2024.E27095/ASSET/02707BCB-B903-4F7E-804F-AD987A141F4B/MAIN.ASSETS/GR11_LRG.JPG
- Nepal, S. R., & Shrestha, S. L. (2024). Modeling the ecological footprint and assessing its influential factors: A systematic review. *Environmental science and pollution research international*, 31(38), 50076–50097. <https://doi.org/10.1007/S11356-024-34549-3>
- NKK Gamage, A. (2025). Research Design, Philosophy, and Quantitative Approaches in Scientific Research Methodology. *Scholars Journal of Engineering and Technology Abbreviated Key Title: Sch J Eng Tech*, 13(2), 91–103. <https://doi.org/10.36347/sjet.2025.v13i02.004>
- Omoke, P. C., Nwani, C., Effiong, E. L., Evbuomwan, O. O., & Emenekwe, C. C. (2020). The impact of financial development on carbon, non-carbon, and total ecological footprint in

- Nigeria: new evidence from asymmetric dynamic analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(17), 21628–21646. <https://doi.org/10.1007/S11356-020-08382-3/METRICS>
- OMS. (2024). *Contaminación atmosférica*.
- ONU. (2024). *Objetivo 13 - Acción por el clima*.
- Oprea, S.-V., Bâra, A., & Georgescu, I. A. (2024). Assessing the Dynamics of Ecological Footprint in Relation to Economic and Energy Factors: A Comparative Analysis of Finland and Japan. *Journal of the Knowledge Economy* 2024, 1–36. <https://doi.org/10.1007/S13132-024-02312-1>
- Öztürk, O., Kocaman, R., & Kanbach, D. K. (2024). How to design bibliometric research: an overview and a framework proposal. *Review of Managerial Science*, 18(11), 3333–3361. <https://doi.org/10.1007/S11846-024-00738-0/TABLES/7>
- Paladines, H. J. (2023). Impacto del crecimiento económico sobre la huella ecológica en Ecuador periodo 1980-2020 . *Facultad Jurídica, Social y Administrativa*.
- Paola, B., Salcedo, C., & Rivera, C. V. (2022). Evaluación de la huella ecológica y su relación con la capacidad biológica en el campuspuerta roja de la universidad Sucre – Colombia. *Revista de Investigación en Gestión Industrial, Ambiental, Seguridad y Salud en el Trabajo - GISST*, 8(1), 1–24. <https://doi.org/10.34893/gisst.v8i1.422>
- Parums, D. V. (2024). Editorial: The 2024 Revision of the Declaration of Helsinki and its Continued Role as a Code of Ethics to Guide Medical Research. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 30, e947428. <https://doi.org/10.12659/MSM.947428>
- Pérez Neira, D., De Marco Larrauri, O., & Alvarez Muñoz, P. (2015). La huella ecológica de las naciones. Reflexiones globales, particularidades ecuatorianas / The ecological footprint of nations. Overall thoughts and the ecuadorian context. *Revista Ciencia UNEMI, ISSN-e 2528-7737, ISSN 1390-4272, Vol. 8, N°. 14, 2015, págs. 93-103*, 8(14), 93–103. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5210273&info=resumen&idioma=SPA>
- Pilcher, N., & Cortazzi, M. (2024). “Qualitative” and “quantitative” methods and approaches across subject fields: implications for research values, assumptions, and practices. *Quality & Quantity: International Journal of Methodology*, 58(3), 2357–2387. <https://doi.org/10.1007/S11135-023-01734-4>
- PNUMA. (2024). *Medidas multilaterales eficaces, inclusivas y sostenibles para hacer frente al cambio climático, la pérdida de diversidad biológica y la contaminación*.
- Portalanza, D., Torres, M., Rosso, F., Zuluaga, C. F., Durigon, A., Horgan, F. G., Alava, E., & Ferraz, S. (2024). Climate variability and change in Ecuador: dynamic downscaling of regional projections with RegCM4 and HadGEM2-ES for informed adaptation strategies. *Frontiers in Climate*, 6, 1344868. <https://doi.org/10.3389/FCLIM.2024.1344868/BIBTEX>
- Quintana, G. E., Mateos, J. E. G., Baquerizo, R. M. P., Quintana, G. E., Mateos, J. E. G., Sánchez, F. M., & Baquerizo, R. P. (2015). perspectiva ambiental en las universidades. *Editorial Universidad Ecotec*. <https://doi.org/10.21855/LIBROSECOTEC.51>

- Ramoni Perazzi, J., & Merli, G. O. (2021). Dinámica de sistemas y crecimiento económico. *Revista de Economía Institucional*, 24(46), 115–132. <https://doi.org/10.18601/01245996.v24n46.07>
- Ramoni Perazzi, J., & Merli Orlandoni, G. (2021). Dinámica de sistemas y crecimiento económico. *Revista de Economía Institucional*, 24(46), 115–132. <https://doi.org/10.18601/01245996.v24n46.07>
- Romero, F. G. O. (2022). EL ESTADO DEL ARTE EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA. *Sciencevolution*, 2(2), 6–6. <https://revista.sciencevolution.com/index.php/sciencevolution/article/view/16>
- Salcedo-Muñoz, V., Arias-Monteros, V., Luzmila Vega-Gonzalez, L., & Moreno-Loaiza, C. (2024). Consumo sostenible y responsabilidad social: Percepción en estudiantes de la Universidad Técnica de Machala-Ecuador. *Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales*, 9, 1–109. <https://doi.org/10.33936/rehuso.v9i1.4879>
- Saleem, J., Tahir, F., Baig, M. Z. K., Al-Ansari, T., & McKay, G. (2023). Assessing the environmental footprint of recycled plastic pellets: A life-cycle assessment perspective. *Environmental Technology & Innovation*, 32, 103289. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2023.103289>
- Salgado, J. Pablo. (2021). *Un ecosistema llamado universidad*.
- Santoso, E. B., Aulia, B. U., & Desiana, T. A. (2022). Ecological Footprint Scenario Based on Dynamic System Model in Gerbangkertosusila Region *Overview: A Regional Scenario on Spatial Planning for Sustainable Land-Use*. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 10(1), 99–116. https://doi.org/10.14246/IRSPSD.10.1_99
- Saqib, N., Ozturk, I., & Usman, M. (2023). Investigating the implications of technological innovations, financial inclusion, and renewable energy in diminishing ecological footprints levels in emerging economies. *Geoscience Frontiers*, 14(6), 101667. <https://doi.org/10.1016/J.GSF.2023.101667>
- Senescyt. (2025). *Boletín Anual*. www.educacionsuperior.gob.ec
- Shi, S., Hu, B., Yan, Y., Li, X., Zhou, K., Tang, C., & Xie, B. (2020). Dynamic Evolution of the Ecological Carrying Capacity of Poverty-Stricken Karst Counties Based on Ecological Footprints: A Case Study in Northwestern Guangxi, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 991, 17(3), 991. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17030991>
- Sugiarta, R. D., Arofiati, F., & Rosa, E. M. (2023). Validity and Reliability of Research Instruments on the Effect of Motivation on Nurse Performance in Moderation with Nurse Credentials. *JMMR (Jurnal Medicoeticolegal dan Manajemen Rumah Sakit)*, 12(1), 46–55. <https://doi.org/10.18196/JMMR.V12I1.6>
- Sun, Y., Mao, X., Liu, G., Yin, X., & Zhao, Y. (2020). Modelling the effects of energy taxes on ecological footprint transfers in China's foreign trade. *Ecological Modelling*, 431, 109200. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2020.109200>
- Tahir, M., Albahouth, A. A., Jaboob, M., Osama, A. J., & Burki, U. (2024). The consumption of natural resources and its effects on environmental quality: Evidence from the OECD countries. *Sustainable Futures*, 8, 100248. <https://doi.org/10.1016/J.SFTR.2024.100248>
- Tian, P., Li, J. L., Wang, L. J., Liu, R. Q., & Shi, X. L. (2020). Dynamics of three-dimensional ecological footprint of Zhejiang coastal zone and its influencing factors based on GTWR

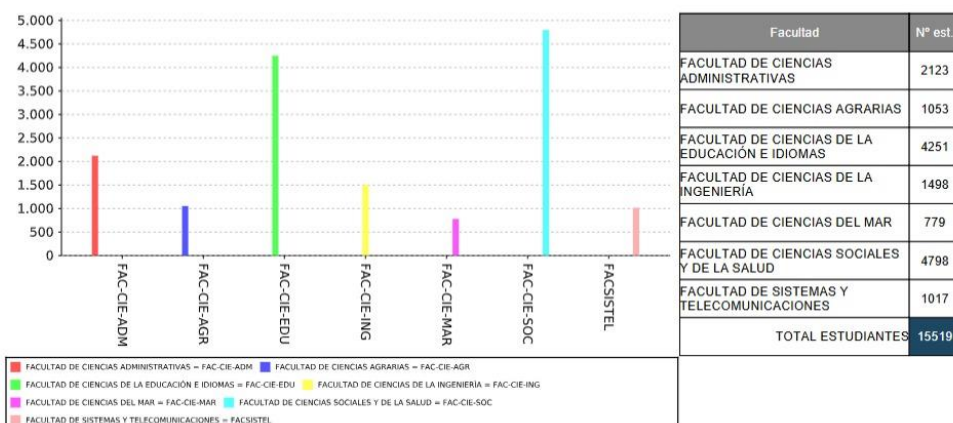
- model[基于GTWR模型的浙江省海岸带三维生态足迹动态变化及其影响因素]. *Ying yong sheng tai xue bao = The journal of applied ecology*, 31(9), 3173–3186. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202009.016>
- Tornero Gómez, T. (2021). La huella ecológica en las Universidades. *El Guiniguada*, 30 (2021), 135–153. <https://doi.org/10.20420/ElGuiniguada.2021.410>
- Tuest, Y. N., Soler, C. C., & Feliu, V. R. (2022). Bibliometric and systemic analysis of the relationship between management and carbon. *Cuadernos de Gestión*, 22(1), 215–228. <https://doi.org/10.5295/cdg.211442yn>
- Ullah, S., & Lin, B. (2024). Harnessing the synergistic impacts of financial structure, industrialization, and ecological footprint through the lens of the EKC hypothesis. Insights from Pakistan. *Energy*, 307, 132540. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2024.132540>
- Vaisi, S., Alizadeh, H., Lotfi, W., & Mohammadi, S. (2021). Developing the Ecological Footprint Assessment for a University Campus, the Component-Based Method. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 9928, 13(17), 9928. <https://doi.org/10.3390/SU13179928>
- Valderrama, C., Diaz, L., & Ceron, A. (2024). Trends of the ecological footprint and urban development: A systematic and bibliometric review. *Ecological Frontiers*, 44(5), 865–873. <https://doi.org/10.1016/J.ECOFRO.2024.01.007>
- Verónica, S., Nicolalde, B., Orlando, D., & Marín, M. (2024). Transformaciones y Futuro de la Educación Ambiental en el Currículum de Educación Básica de Ecuador: Análisis Desde 2017 Hasta 2023. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 6283–6301. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V8I2.11047
- Villanthenkodath, M. A. (2024). Unveiling the three-dimensional ecological footprint dynamics in the era of technological revolution. *Journal of Economy and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ject.2024.11.005>
- Villanueva Couoh, F. J. (2022). *Metodología de la investigación* (H. Guerrero Aguilar, Ed.; Klik).
- Wagner, C., & Gibberd, J. (2022). Reducing students' ecological footprints through self-developed interventions. <https://doi.org/10.1177/00812463221130196>, 52(4), 533–544. <https://doi.org/10.1177/00812463221130196>
- Wang, W., Rehman, M. A., & Fahad, S. (2022). The dynamic influence of renewable energy, trade openness, and industrialization on the sustainable environment in G-7 economies. *Renewable Energy*, 198, 484–491. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2022.08.067>
- Williams, M., Abu Alrub, A., & Aga, M. (2022). Ecological Footprint, Economic Uncertainty and Foreign Direct Investment in South Africa: Evidence From Asymmetric Cointegration and Dynamic Multipliers in a Nonlinear ARDL Approach. *SAGE Open*, 12(2). https://doi.org/10.1177/21582440221094607/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_21582440221094607-FIG4.JPEG
- Xu, Q., Yan, F., Ding, Z., Tang, X., & Yao, L. (2024). Evaluación dinámica de la seguridad ecológica en el cinturón económico del río Yangtsé basada en la huella ecológica tridimensional. *Progreso en Geografía*, 43(6), 1184–1202. <https://doi.org/10.18306/dlxjz.2024.06.011>

- Xu, Y., Li, C., & Wang, J. (2023). How does agricultural global value chain affect ecological footprint? The moderating role of environmental regulation. *Sustainable Development*, 31(4), 2416–2427. <https://doi.org/10.1002/SD.2518>
- Yadav, S. K., Banerjee, A., Jhariya, M. K., Meena, R. S., Raj, A., Khan, N., Kumar, S., & Sheoran, S. (2022). Environmental education for sustainable development. *Natural Resources Conservation and Advances for Sustainability*, 415–431. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822976-7.00010-7>
- Yang, Y., & Cai, Z. (2020). Ecological security assessment of the Guanzhong Plain urban agglomeration based on an adapted ecological footprint model. *Journal of Cleaner Production*, 260, 120973. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120973>
- Yavaş, S. P., Baysan, C., Önal, A. E., & Ayvaz, Ö. (2024). THE RELATIONSHIP BETWEEN ECOLOGICAL FOOTPRINT LEVELS AND AWARENESS OF MEDICAL FACULTY STUDENTS. *Nobel Medicus*, 20(3), 164–172.
- Zambrano, J. L., & Herrera, G. A. (2024). *Evaluación de la huella ecológica para medir el impacto ambiental del sector pesquero de Santa Rosa, Salinas, Santa Elena, Ecuador*. [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/11656>
- Zhang, D., Wu, L., Niu, X., Guo, Z., Zhang, Z., Li, S., Zhang, G., Ahmad, F., Shang, Z., & Xu, H. (2022). Looking for ecological sustainability: A dynamic evaluation and prediction on the ecological environment of the belt and road region. *Sustainable Production and Consumption*, 32, 851–862. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2022.06.007>
- Zhang, J., & Ma, L. (2021). Urban ecological security dynamic analysis based on an innovative emergy ecological footprint method. *Environment, Development and Sustainability*, 23(11), 16163–16191. <https://doi.org/10.1007/S10668-021-01341-Z/METRICS>
- Zhou, R., Abbasi, K. R., Salem, S., Almulhim, A. I., & Alvarado, R. (2022). Do natural resources, economic growth, human capital, and urbanization affect the ecological footprint? A modified dynamic ARDL and KRLS approach. *Resources Policy*, 78, 102782. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2022.102782>

Anexo 2. Información de población.



Universidad Estatal Península de Santa Elena Reporte Cantidad de matriculados por Facultades



Anexo 3. Instrumento de recolección de datos.

Anexo 3. Instrumento de recolección de datos
Instrumentos: Cuestionario de Reciclaje de residuos industriales

Estimado(a) trabajador opina sobre la huella ecológica en la UPSE
Marca solo una puntuación de la escala que crees que cumples por cada ítem.

Facultad: _____ Sexo: Masculino () Femenino () Edad ()

Dimensiones/Indicadores/ Ítems		SI	NO	No estoy seguro
Dimensión 1: Conocimiento Básico sobre Huella Ecológica				
Indicador 1: Uso de recursos eléctricos en el campus				
1	¿Apagas las luces de aulas o pasillos cuando no son necesarias?			
2	¿Desconectas cargadores de dispositivos cuando no los usas?			
Indicador 2: Equipos electrónicos.				
3	¿Utilizas computadoras o impresoras del campus de manera eficiente (ej.: modo ahorro de energía)?			
4	¿Apagas completamente los equipos después de usarlos?			
Dimensión 2: Gestión de Residuos				
Indicador 3: Separación de desechos				
5	¿Separas residuos reciclables (papel, plástico) de la basura común en los contenedores del campus?			
6	¿Reutilizas materiales como hojas de papel o envases antes de desecharlos?			
Indicador 4: Uso de plásticos				
7	¿Evitas llevar utensilios de plástico desechables (cubiertos, vasos) al campus?			
8	¿Prefieres usar botellas o termos reutilizables en lugar de comprar bebidas en envases plásticos?			
Dimensión 3: Movilidad Sostenible				
Indicador 5: Transporte al campus				
9	¿Utilizas transporte público, bicicleta o caminas para llegar a la UPSE?			
10	¿Compartes el auto con compañeros para reducir el uso de vehículos privados?			
Indicador 6: Consumo de combustible				
11	¿Apagas el motor de tu auto si estacionas por más de 5 minutos en el campus?			
12	¿Consideras que se promueva el uso de bicicleta en el campus?			
Dimensión 4: Uso de Agua				
Indicador 7: Consumo responsable				
13	¿Cierras los grifos correctamente después de usarlos en baños o cafetería?			
14	¿Reportas fugas de agua en el campus cuando las identificas?			
Indicador 8: Hábitos sostenibles.				
15	¿Llevas tu propio vaso o taza para evitar usar descartables en bebederos?			
16	¿Reutilizas el agua de tu botella (ej.: para regar plantas) antes de desecharla?			
Dimensión 5: Propuestas de Acción				
Indicador 9: Disposición al cambio				
17	¿Sabes que la huella ecológica es resultado del mal manejo de recursos?			
18	¿Crees que tus actividades diarias en el campus contribuyen a su aumento?			
Indicador 10: Impacto ambiental				
19	¿Participarías en campañas de reciclaje o reforestación organizadas por la UPSE?			
20	¿Estarías dispuesto a utilizar el aire acondicionado de manera eficiente si es considerado un factor crítico ambiental?			
21	¿Crees que la UPSE debería implementar un sistema de monitoreo en tiempo real de la huella ecológica?			

Anexo 4.

Formato de validación de criterio de expertos.

MATRIZ DE VALIDACIÓN POR CRITERIO DE JUCIO DE EXPERTOS																	
INSTRUMENTO DE VARIABLE DEPENDIENTE: HUELLA ECOLÓGICA																	
VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	N°	ÍTEMES	ESCALA			CRITERIOS DE EVALUACIÓN								Observación y/o recomendación	
					1. SI	2. NO	3. A veces	Relación entre la variable y la dimensión		Relación entre la dimensión y el indicador		Relación entre el indicador y el ítem		Relación entre el ítem y la opción de respuesta			
								SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO		
Huella ecológica	Conocimiento Básico sobre Huella Ecológica	Uso de recursos eléctricos en el campus	1	¿Apagas las luces de aulas o pasillos cuando no son necesarias?				X		X		X		X			
			2	¿Desconectas cargadores de dispositivos cuando no los usas?								X		X			
		Equipos electrónicos.	3	¿Utilizas computadoras o impresoras del campus de manera eficiente (ej.: modo ahorro de energía)?								X		X		X	
			4	¿Apagas completamente los equipos después de usarlos?								X		X		X	
	Gestión de Residuos	Separación de desechos	5	¿Separas residuos reciclables (papel, plástico) de la basura común en los contenedores del campus?				X		X		X		X			
			6	¿Reutilizas materiales como hojas de papel o envases antes de desecharlos?								X		X			
		Uso de plásticos	7	¿Evitas llevar utensilios de plástico desechables (cubiertos, vasos) al campus?								X		X		X	
			8	¿Prefieres usar botellas o termos reutilizables en lugar de comprar bebidas en envases plásticos?								X		X		X	
	Movilidad Sostenible	Transporte al campus	9	¿Utilizas transporte público, bicicleta o caminas para llegar a la UPSE?				X		X		X		X			
			10	¿Compartes el auto con compañeros para reducir el uso de vehículos privados?								X		X			
		Consumo de combustible	11	¿Apagas el motor de tu auto si estacionas por más de 5 minutos en el campus?								X		X		X	
			12	¿Consideras que se promueva el uso de bicicleta en el campus?								X		X		X	
	Uso de Agua	Consumo responsable	13	¿Cierras los grifos correctamente después de usarlos en baños o cafetería?				X		X		X		X			
			14	¿Reportas fugas de agua en el campus cuando las identificas?								X		X			
		Hábitos sostenibles.	15	¿Llevas tu propio vaso o taza para evitar usar descartables en bebederos?								X		X		X	
			16	¿Reutilizas el agua de tu botella (ej.: para regar plantas) antes de desecharla?								X		X		X	
	Propuestas de Acción	Disposición al cambio	17	¿Sabes que la huella ecológica es resultado del mal manejo de recursos?				X		X		X		X			
			18	¿Crees que tus actividades diarias en el campus contribuyen a su aumento?								X		X			
		Impacto ambiental	19	¿Participarías en campañas de reciclaje o reforestación organizadas por la UPSE?								X		X		X	
			20	¿Estarías dispuesto a utilizar el aire acondicionado de manera eficiente si es considerado un factor crítico ambiental?								X		X		X	
			21	¿Crees que la UPSE debería implementar un sistema de monitoreo en tiempo real de la huella ecológica?								X		X		X	

Anexo 5.

Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVO	VARIABLES	DISEÑO METODOLÓGICO
General	General	Independiente	
¿De qué manera el desarrollo de una metodología para el cálculo de la huella ecológica puede facilitar la modelación dinámica de los factores en el lugar de estudio?	Proponer una metodología para el cálculo de huella ecológica mediante la modelación dinámica de los resultados obtenidos en la Universidad Estatal Península de Santa Elena	Huella Ecológica	<p>Enfoque de la investigación: Mixto</p> <p>Diseño: Secuencial explicativo (Dexplis)</p> <p>Muestra: 90 estudiantes de todas las facultades de la UPSE</p> <p>Técnicas de recolección de datos: Encuesta y Entrevista</p> <p>Instrumento: Cuestionarios</p>
	Específicos	Dependiente	
¿Qué técnicas y herramientas metodológicas, reportadas en la literatura científica, han demostrado eficacia en la integración del cálculo de huella ecológica con modelos dinámicos?	Plantear un estado de arte mediante un análisis sistemático respalde el cálculo de la huella ecológica para el análisis del impacto en el entorno universitario establecido	Modelación dinámica	<p>Justificación: La importancia de la elaboración de una metodología para el cálculo de la huella ecológica y de su modelación dinámica se aborda de manera integral la sostenibilidad en el ámbito universitario, que considera la importancia creciente del impacto ambiental generado por las actividades humanas (Zambrano & Herrera, 2024). A través de la huella ecológica, como métrica reconocida a nivel global, permite evaluar el uso de los recursos y la aptitud de los ecosistemas para regenerarse (Verónica et al., 2024). Bajo este contexto, se entiende que en el ámbito educativo se debe priorizar un impulso de las prácticas socioambientales para la participación de la comunidad de los campus</p>
¿Qué protocolos de recolección y procesamiento de datos garantizan la validez y confiabilidad de los insumos requeridos?	Establecer un marco metodológico por medio de procedimientos el cálculo de la huella ecológica en las universidades y el comportamiento de los factores aplicando modelación dinámica de sistemas.		
¿Cómo se manifiestan los resultados del cálculo de huella ecológica al ser integrados en un modelo dinámico?	Calcular la huella ecológica de la UPSE por medio de la modelación dinámica para la visualización del comportamiento de los factores en periodos de tiempo.		

Anexo 6.

Matriz de operacionalización de variables.

Anexo 1. Matriz de Operacionalización de variables.							
TITULO DEL PROYECTO							
Metodología de cálculo de huella ecológica y su modelación dinámica en la Universidad Estatal							
Variable dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	N°	Indicadores	Item	Escala
Modelación dinámica	modelación dinámica de sistemas tiene como función la simulación de diferentes escenarios que estén relacionados con prácticas ambientales destinadas al lugar de estudio (Zambrano & Herrera, 2024)	Aplicar modelación dinámica de sistemas la cual permite el análisis el comportamiento de los datos a través del tiempo	Diagnóstico de la Huella Ecológica en la UPSE	1	Identificación de prácticas críticas	Según su experiencia, ¿cuáles son las tres prácticas cotidianas de los estudiantes que más contribuyen a la huella ecológica del campus? (Ej.: consumo de energía, generación de residuos, transporte)	Abierto
				2	Evaluación de políticas actuales	¿Cómo percibe la efectividad de las campañas de concienciación ambiental dirigidas a estudiantes y personal de la UPSE? (Ej.: reciclaje, ahorro energético)	
			Modelación Dinámica y Comportamiento Estudiantil	3	Variables comportamentales clave	Desde el enfoque de modelación dinámica, ¿qué variables comportamentales de los estudiantes cree que son clave para reducir la huella ecológica?	
				4	Mecanismos de retroalimentación	¿Cómo podrían integrarse mecanismos de retroalimentación inmediata (ej.: paneles informativos, apps) para incentivar acciones responsables en los estudiantes?	
			Estrategias Basadas en Participación Estudiantil	5	Estrategias pedagógicas	¿Qué estrategias pedagógicas o participativas recomendaría para fomentar una cultura de reducción de huella ecológica entre los	
				6	Medición de impacto	¿Cómo podría la UPSE medir el impacto de las acciones estudiantiles en la reducción de la huella ecológica a corto y largo plazo?	
			Retos y Oportunidades	7	Obstáculos	¿Cuáles son los principales obstáculos para que los estudiantes, docentes y personal administrativo para que adopten prácticas sostenibles de manera consistente?	
				8	Rol de las facultades	¿Qué rol deberían tener todas las facultades de la institución en promover soluciones tecnológicas sencillas para reducir la huella ecológica?	
			Acciones Concretas y Políticas	9	Acciones prioritarias	Si tuviera que priorizar una acción liderada por facultad para reducir la huella ecológica del campus, ¿cuál sería y por qué?	
				10	Mecanismos de incentivo	¿Qué mecanismos de incentivo (no monetarios) podrían implementarse para reconocer a los estudiantes o grupos más comprometidos con la sostenibilidad?	

Variable independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Nº	Indicadores	Item	Técnica
Huella ecológica	Cuantificación del uso de recursos naturales y la capacidad de los ecosistemas para su regeneración, proporcionando un diagnóstico claro de cuántos recursos utiliza una población o institución y cuánto afecta a el entorno que lo rodea (Valderrama et al., 2024).	Se elabora la metodología de huella ecológica por el acceso a datos de consumo de energía, agua y generación de residuos en la UPSE que es el beneficiario, también que sea replicable en otras organizaciones similares para la contribución de prácticas sostenibles.	Conocimiento Básico sobre Huella Ecológica	1	Uso de recursos eléctricos en el campus	¿Apagas las luces de aulas o pasillos cuando no son necesarias? ¿Desconectas cargadores de dispositivos cuando no los usas?	De intervalo
				2	Equipos electrónicos.	¿Utilizas computadoras o impresoras del campus de manera eficiente (ej.: modo ahorro de energía)? ¿Apagas completamente los equipos después de usarlos?	
			Gestión de Residuos	3	Separación de desechos	¿Separas residuos reciclables (papel, plástico) de la basura común en los contenedores del campus? ¿Reutilizas materiales como hojas de papel o envases antes de desecharlos?	
				4	Uso de plásticos	¿Evitas llevar utensilios de plástico desechables (cubiertos, vasos) al campus? ¿Prefieres usar botellas o termos reutilizables en lugar de comprar bebidas en envases plásticos?	
			Movilidad Sostenible	5	Transporte al campus	¿Utilizas transporte público, bicicleta o caminas para llegar a la UPSE? ¿Has compartido auto con compañeros cuando se necesita movilización en grupo?	
				6	Consumo de combustible	¿Consideras que los buses de la universidad están en perfectas condiciones? ¿Consideras que se promueva el uso de bicicletas en el campus?	
			Uso de Agua	7	Consumo responsable	¿Cierras los grifos correctamente después de usarlos en baños o cafetería? ¿Reportas fugas de agua en el campus cuando las identificas?	
				8	Hábitos sostenibles.	¿Llevas tu propio vaso o taza para evitar usar descartables en bebederos? ¿Reutilizas el agua de tu botella (ej.: para regar plantas) antes de desecharla?	
			Propuestas de Acción	9	Disposición al cambio	¿Sabes que la huella ecológica es resultado del mal manejo de recursos? ¿Crees que tus actividades diarias en el campus contribuyen a su aumento?	
				10	Impacto ambiental	¿Participarías en campañas de reciclaje o reforestación organizadas por la UPSE? ¿Estarías dispuesto a utilizar el aire acondicionado de manera eficiente si es considerado un factor crítico ambiental? ¿Crees que la UPSE debería implementar un sistema de monitoreo en tiempo real de la huella ecológica?	

Anexo 7.*Formato de valoración de expertos.*

La Libertad, 16 de abril del 2025

Validación del instrumento por Expertos

Nombre del instrumento: METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE HUELLA ECOLÓGICA Y SU MODELACIÓN DINÁMICA EN LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

Objetivo: Proponer una metodología para el cálculo de huella ecológica mediante la modelación dinámica de los resultados obtenidos en la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

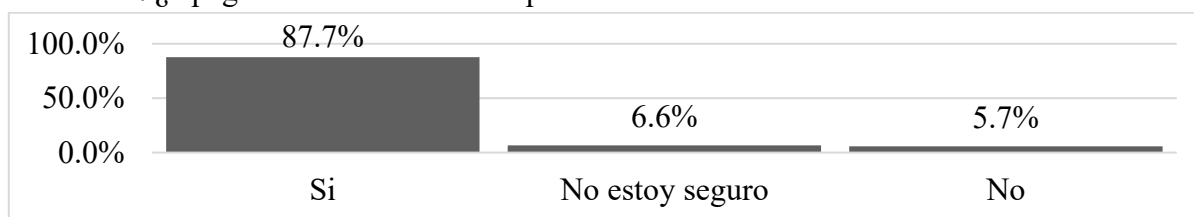
Dirigido a: Estudiantes de todas las facultades de la UPSE

Nº	Apellidos y Nombres del Evaluador	Cedula	Grado Académico	Áreas de Experiencia Profesional	Institución donde labora	Años de Experiencia	Valoración	Firma
1	Herrera Brunett Gerardo Antonio	0909254260	Ingeniero Industrial Magister en Seguridad, Higiene Industrial y Salud Ocupacional Doctor en Ciencias Ambientales	Profesional <input checked="" type="checkbox"/> Educativa <input checked="" type="checkbox"/>	Universidad Estatal Península de Santa Elena	35 años	<input checked="" type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Malo	
2	Muñoz Bravo Richard Edinson	0922584321	Ingeniero Industrial Máster en Sistemas Integrados de Gestión	Profesional <input checked="" type="checkbox"/> Educativa <input checked="" type="checkbox"/>	Universidad Estatal Península de Santa Elena	13 años	<input checked="" type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Malo	
3	Buenaño Buenaño Edison Noe	1804570636	Ingeniero Industrial Máster en Sistemas Integrados de Gestión Máster en automatización y electrónica	Profesional <input checked="" type="checkbox"/> Educativa <input checked="" type="checkbox"/>	Universidad Estatal Península de Santa Elena	5 años	<input checked="" type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Malo	
4	Reyes Soriano Franklin Enrique	0908335813	Ingeniero Industrial Máster en Sistemas Integrados de Gestión	Profesional <input checked="" type="checkbox"/> Educativa <input checked="" type="checkbox"/>	Universidad Estatal Península de Santa Elena	20 años	<input checked="" type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Malo	

Anexo 8.

Resultados de encuesta.

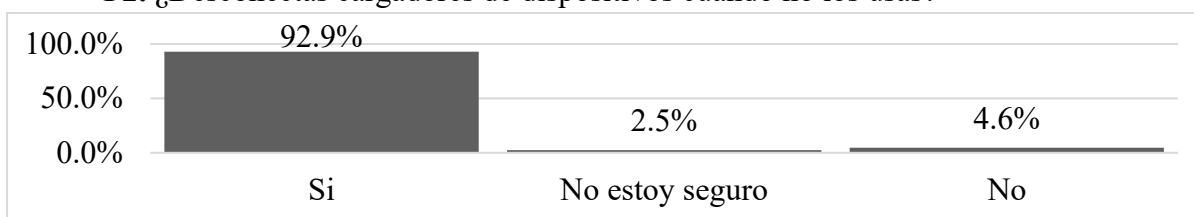
P1. ¿Apagas las luces de aulas o pasillos cuando no son necesarias?



Nota. Elaborado por los autores.

Con los resultados, se analiza que la gran mayoría de estudiantes mantienen prácticas que permiten la reducción del consumo energético en menor escala lo que aporta a la huella ecológica a un menor uso de recursos dentro las instalaciones, aunque una pequeña proporción de alumnos no tienen en cuenta si realizan estas acciones de manera frecuente, esto señala que no hay una claridad sobre el efecto que tiene esto con la variable de estudio.

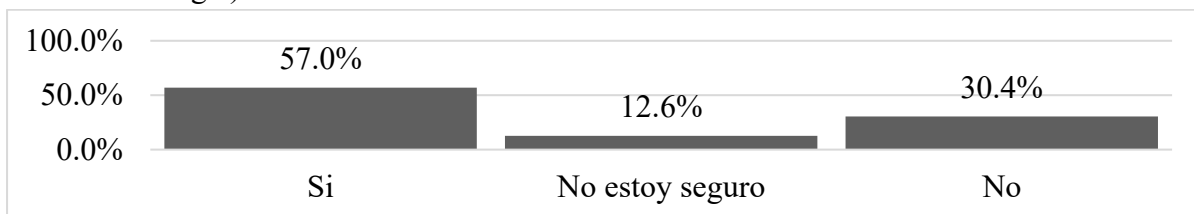
P2. ¿Desconectas cargadores de dispositivos cuando no los usas?



Nota. Elaborado por los autores.

Como se observa en la gráfica anterior, hay una afirmación de solo conectar estos dispositivos durante pequeños periodos de tiempos, por motivo a un uso constante de los estudiantes de un solo aula, aunque esto indica un uso frecuente de los tomacorrientes de las instalaciones, no obstante, existe una pequeña proporción que no tiene la necesidad de la desconexión de estos aparatos, sin embargo, son distintos a los celulares personales, también se da el uso de circuitos electrónicos o herramienta que necesitan una fuente de alimentación.

P3. ¿Utilizas computadoras o impresoras del campus de manera eficiente (ej.: modo ahorro de energía)?

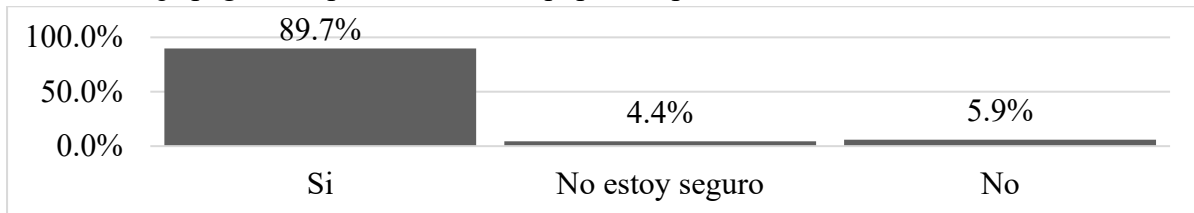


Nota. Elaborado por los autores.

Esta pregunta, implica en como utilizan los dispositivos como laptop e impresoras como un factor en el consumo energético, se resalta que existen dispositivos que requieren de la conexión a una fuente de alimentación de forma directa para utilizar el máximo rendimiento

en trabajos como diseño, edición o simulaciones, sobre todo en carreras de ingeniería que involucra estas actividades, no obstante, se evidencia una proporción de estudiantes que no consideran este tipo de ámbitos y que evitan la movilización de sus dispositivos de trabajo a las instalaciones de la universidad.

P4. ¿Apagas completamente los equipos después de usarlos?



Nota. Elaborado por los autores.

Los resultados señalan que los equipos son correctamente apagados al finalizar las actividades educativas dentro de las áreas por parte de los encuestados, esto sugiere que se evita el consumo eléctrico de forma deficiente lo que demuestra una cultura en el cuidado del aparatos y recursos que ofrece la institución como herramienta de estudio para los estudiantes y así evitando un aumento de la huella ecológica.

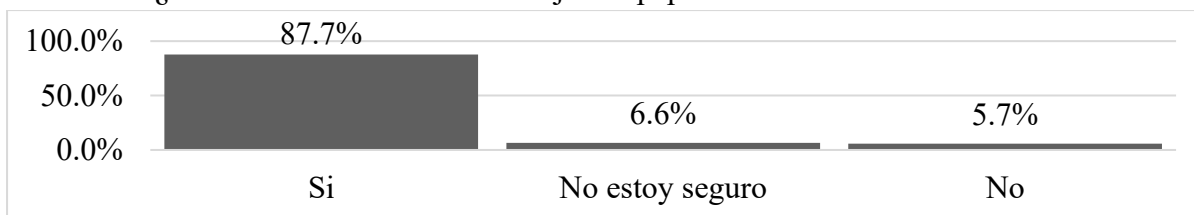
P5. ¿Separas residuos reciclables (papel, plástico) de la basura común en los contenedores del campus?



Nota. Elaborado por los autores.

Se consigue respuestas que implica que la mayor parte de los alumnos conlleva una cultura acerca del reciclaje de los residuos generados por los mismos estudiantes de la UPSE, sin embargo, menos del 40 % señala que realizan estas acciones en una baja frecuencia o casi nula, provocando la reutilización de los recursos consumidos dentro de la institución lo que afecta a la huella ecológica de forma directa.

P6. ¿Reutilizas materiales como hojas de papel o envases antes de desecharlos?

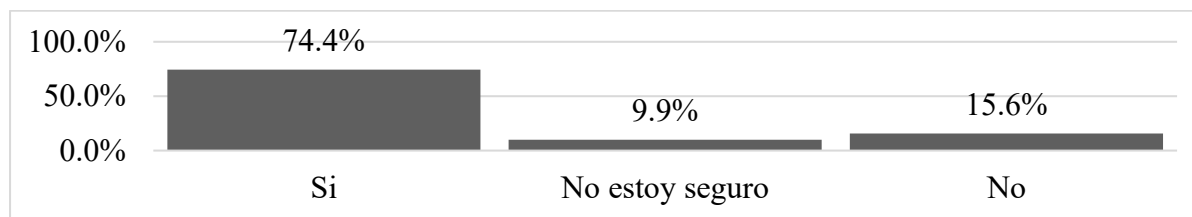


Nota. Elaborado por los autores.

Como resultados, se interpreta que forma involuntaria, la mayor parte de los participantes tienen una cultura en reutilizar los insumos que han sido utilizado en actividades

anteriores como método de reducción de gastos de forma diaria que de forma indirecta reduce la huella ecológica sobre los recursos consumidos y aumentando la capacidad de producción.

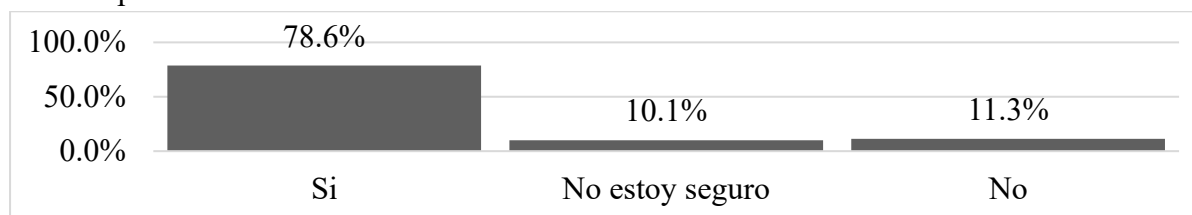
P7. ¿Evitas llevar utensilios de plástico desechables (cubiertos, vasos) al campus?



Nota. Elaborado por los autores.

Con estas respuestas, se interpreta que los estudiantes en una mayor proporción no tienen la necesidad de trasladar productos que provoquen una generación de desechos, mientras que una pequeña cantidad de universitarios tiene una frecuencia mayor en el uso de plásticos esto por motivo a su alimentación o en la preparación de eventos o actividades de forma constante.

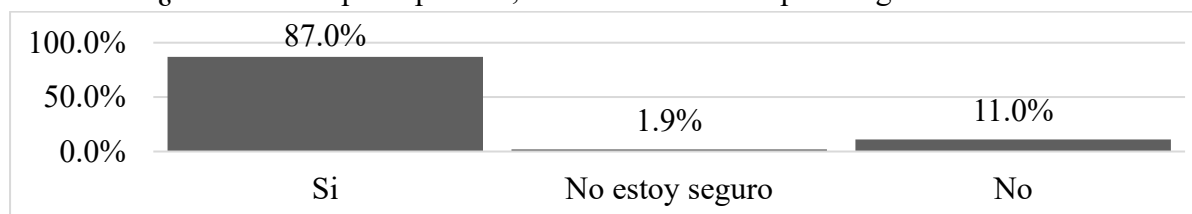
P8. ¿Prefieres usar botellas o termos reutilizables en lugar de comprar bebidas en envases plásticos?



Nota. Elaborado por los autores.

A partir de estos resultados, se consigue que la mayor parte de estudiantes si evita la compra de botellas plásticas y lleva recipientes personales que pueden ser abastecidos varias veces y así reduciendo la generación de residuos que a su vez disminuye la huella ecológica en pequeñas proporciones, sin embargo, se mantiene un porcentaje de universitarios que utilizan de forma frecuente botellas comerciales y que son desechadas en los contenedores.

P9. ¿Utilizas transporte público, bicicleta o caminas para llegar a la UPSE?



Nota. Elaborado por los autores.

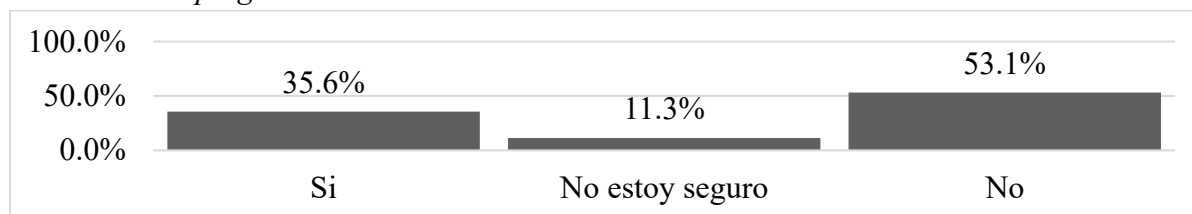
Como análisis se obtiene que la mayor parte de los encuestados utilizan el transporte público, esto implica que no hay una generación directa de emisiones de carbono dentro de las instalaciones, así mismo, los universitarios que usan bicicleta o se dirigen a pie no tienen ningún efecto a la huella ecológica, sin embargo, existe un pequeña proporción que tienen otras

alternativas como es la utilización de vehículos personales que al ingresar al campus, emiten emisiones y los parqueaderos son utilizados con mayor frecuencia.

P10. ¿Has compartido auto con compañeros cuando se necesita movilización en grupo?

Figura 34.

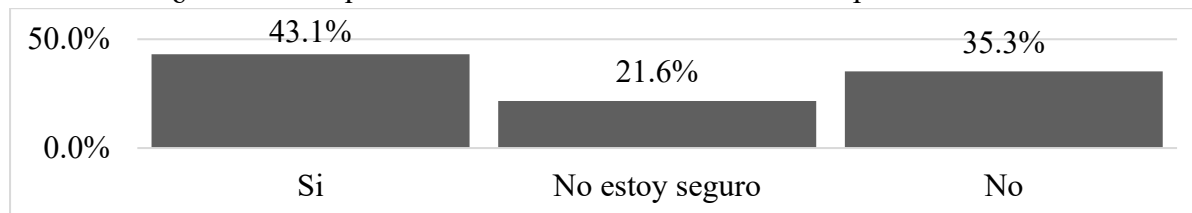
Resultados de pregunta 10.



Nota. Elaborado por los autores.

Aunque el impacto de esta situación es mínima, se busca verificar momentos donde es necesario una movilización frecuente desde las instalaciones lo que equivale a una mayor emisión de carbono dentro del campus, aunque se observa que son eventos muy reducidos sin embargo, se resalta una proporción notoria de casos, como adicional, se hace énfasis a eventos dentro de la UPSE que necesitan el transporte de materiales o de personas, esto aumenta a la huella ecológica en pequeñas cantidades, pero es necesario para conseguir una mayor precisión en el cálculo.

P11. ¿Consideras que los buses de la universidad están en perfectas condiciones?



Nota. Elaborado por los autores.

Con estos resultados, se obtiene que hay una variedad de respuestas por los encuestados, donde menos del 50 % afirma una aceptación a las condiciones del transporte disponible en la universidad, mientras que el 35.3 % sustenta de estos vehículos tienen problemas mínimos o graves lo que puede provocar una mala combustión lo que provoca una mayor emisión de gases de efecto invernadero.

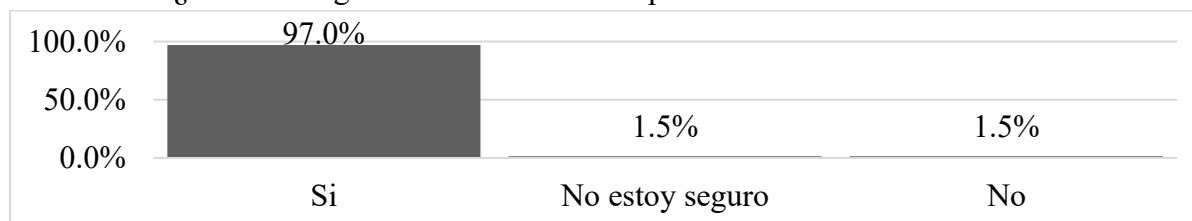
P12. ¿Consideras que se promueva el uso de bicicletas en el campus?



Nota. Elaborado por los autores.

Aunque los universitarios señalan una respuesta afirmativa a esta pregunta, la promoción de esta acción necesita de estudios técnicos más rigurosos, sin embargo, la idea es una sugerencia de transporte de forma interna, lo que provoca una reducción del vehículo motorizado con la finalidad de movilización dentro de las instalaciones que a su vez genera emisiones innecesarias.

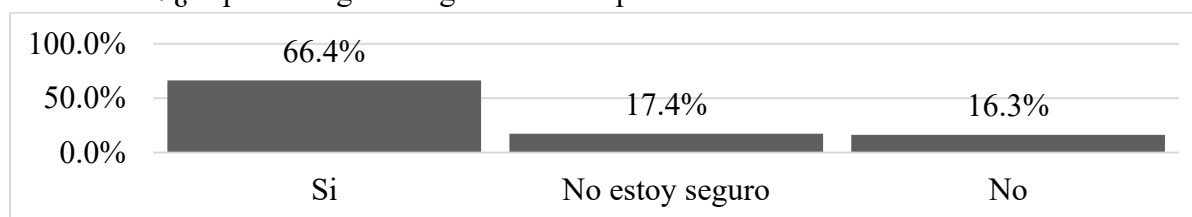
P13. ¿Cierras los grifos correctamente después de usarlos en baños o cafetería?



Nota. Elaborado por los autores.

Estos resultados demuestran que los estudiantes consideran el cierre correcto de grifos ya sea de los baños o de distintas áreas, sin embargo, hay casos con poca ocurrencia que involucra daños en las instalaciones que provoca un goteo constante provocando un desperdicio en bajas proporciones. Con esta respuesta positiva se mantiene un control en el consumo de agua que reduce la huella ecológica.

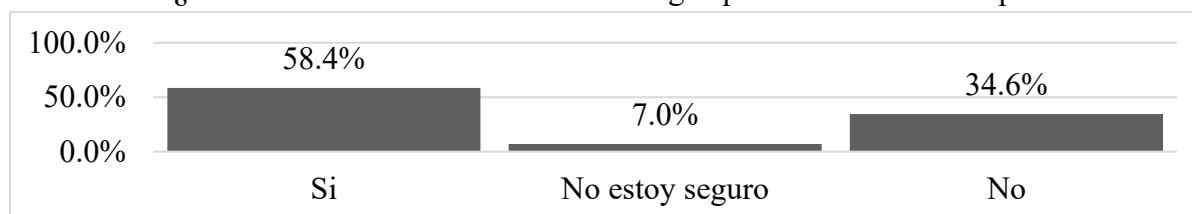
P14. ¿Reportas fugas de agua en el campus cuando las identificas?



Nota. Elaborado por los autores.

Estas respuestas evidencian la importancia por el cuidado del agua dentro del campus matriz por parte de los estudiantes, en caso, de que las acciones no se tomen de forma eficiente, este desperdicio de agua llega a tener un efecto negativo en la utilización de los recursos de manera sustentable, lo que implica un aumento de la huella ecológica.

P15. ¿Mantiene un consumo moderado de agua potable suministrado por bebederos?

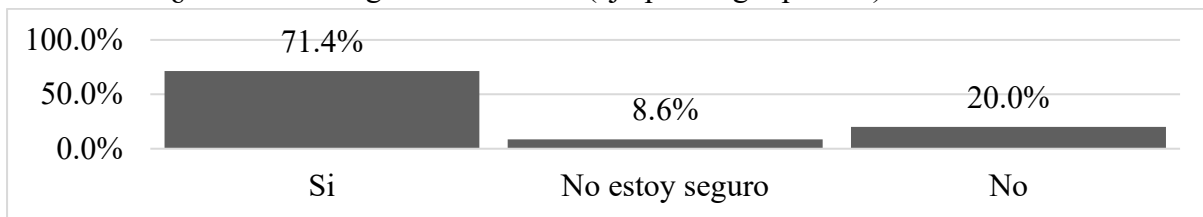


Nota. Elaborado por los autores.

Como resultados, hay un leve porcentaje que utilizan estos lugares con mayor frecuencia y que su consumo puede ser elevado al promedio, sin embargo, se mantiene una

respuesta afirmativa. Esto tiene como finalidad medir el nivel de consumo de agua potable por los estudiantes que puede provocar una mayor adquisición de botellones en la institución.

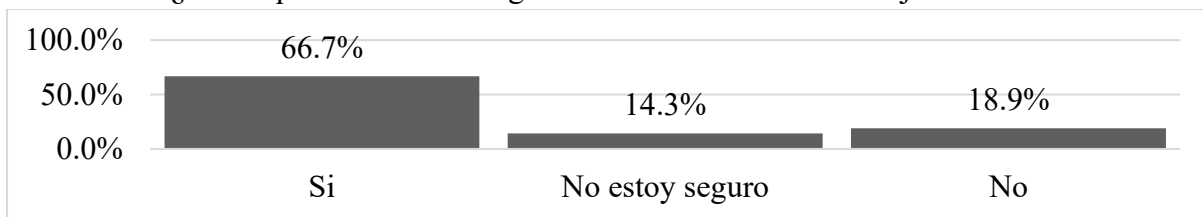
P16. ¿Reutilizas el agua de tu botella (ej.: para regar plantas) antes de desecharla?



Nota. Elaborado por los autores.

Se analiza que el 71.4 % ha adoptado este hábito cuando es requerido como puede ser que el agua tenga una temperatura no agradable o que haya sido contaminada por factores externos que evite su consumo, esto tiene una conexión con la huella ecológica donde las áreas verdes se convierten en sumideros de carbono y aumenta la biocapacidad dentro de la institución.

P17. ¿Sabes qué la huella ecológica es resultado del mal manejo de recursos?



Nota. Elaborado por los autores.

Esto demuestra que los estudiantes comprenden sobre la huella ecológica y que está vinculada en el manejo de los recursos, lo que resalta un amplio conocimiento en este tema y que tienen una moción sobre los factores que provocan un aumento, mientras que una leve proporción no tiene conocimiento sobre esta definición, lo que sugiere una necesidad en instruir de forma constante independiente a la carrera.

P18. ¿Crees que tus actividades diarias en el campus contribuyen al aumento de la huella ecológica?

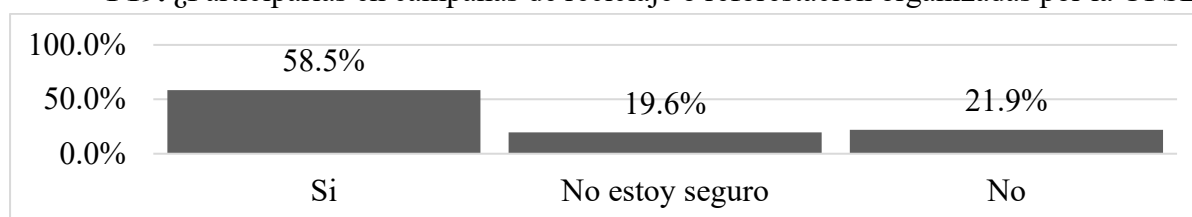


Nota. Elaborado por los autores.

Se observa en la gráfica que más de la mitad de los encuestados identifican que como estudiante de la UPSE tiene una contribución en el aumento de la huella ecológica, esto es debido al consumo de recursos, pero también hay dudas sobre el motivo de este acto. Además,

es necesario que el universitario considere acciones que aumenten la biocapacidad dentro las instalaciones.

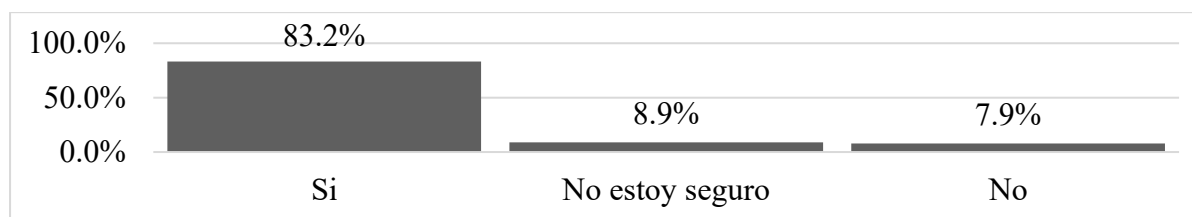
P19. ¿Participarías en campañas de reciclaje o reforestación organizadas por la UPSE?



Nota. Elaborado por los autores.

Esta interrogante tiene la finalidad en obtener la proporción de participación por parte de los estudiantes ante propuestas de reducción de la huella ecológica en el campus matriz como es el caso de campañas gestionadas, sin embargo, existe un porcentaje de encuestados que no tienen un interés en colaborar en estas actividades, por lo cual, es necesario la elaboración de distintas propuestas con una correcta gestión.

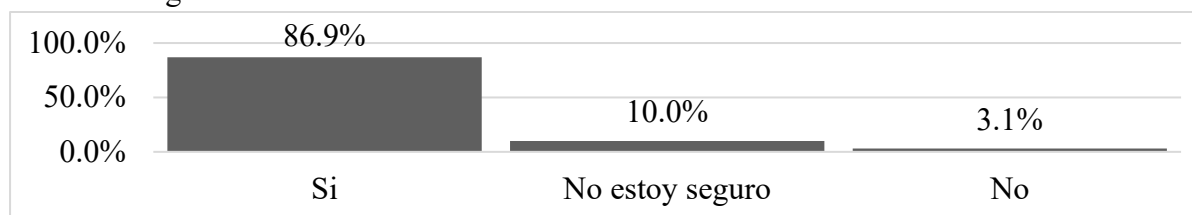
P20. ¿Estarías dispuesto(a) a utilizar el aire acondicionado de manera eficiente si es considerado un factor crítico a la huella ecológica?



Nota. Elaborado por los autores.

Se comprende que el consumo energético de los aires acondicionados convencionales es alto y al estar activos durante largos periodos de tiempo involucra al uso de recursos, sin embargo, si se indican buenas prácticas en el uso eficiente de estos dispositivos se puede reducir la huella ecológica de forma considerable, con lo indicado, se demuestra una amplia consideración por parte de los estudiantes de la institución para aplicación de estas acciones sin perjudicar a la comunidad universitaria.

P21. ¿Crees que la UPSE debería aplicar mecanismos de monitoreo constante de la huella ecológica?



Nota. Elaborado por los autores.

Se sustenta este tipo de acciones para la medición del consumo de recursos principales mediante uso de la tecnología para que se tomen acciones en base a los resultados obtenidos, además que los mismos alumnos estén involucrados mediante proyectos de ciencia y así tener una alineación con el objetivo de desarrollo sostenible 12 (producción y consumo responsable) y el objetivo 13 (acción por el clima) y así otorgar una cultura organizacional con acciones concretas.

Anexo 9.

Tabulación de datos en SPSS.

Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
P1	Numérico	8	0	¿Apagas las lu...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P2	Numérico	8	0	¿Desconectas ...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P3	Numérico	8	0	¿Utilizas comp...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P4	Numérico	8	0	¿Apagas compl...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P5	Numérico	8	0	¿Separas resid...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P6	Numérico	8	0	¿Reutilizas mat...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P7	Numérico	8	0	¿Evitas llevar ut...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P8	Numérico	8	0	¿Prefieres usar...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P9	Numérico	8	0	¿Utilizas transp...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P10	Numérico	8	0	¿Has comparti...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P11	Numérico	8	0	¿Consideras qu...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P12	Numérico	8	0	¿Consideras qu...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P13	Numérico	8	0	¿Cierras los grif...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P14	Numérico	8	0	¿Reportas fuga...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P15	Numérico	8	0	¿Mantiene un c...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P16	Numérico	8	0	¿Reutilizas el a...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P17	Numérico	8	0	¿Sabes qué la ...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P18	Numérico	8	0	¿Crees que tus...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P19	Numérico	8	0	¿Participarías e...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P20	Numérico	8	0	¿Estarías dispu...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada
P21	Numérico	8	0	¿Crees que la ...	{1, Si}...	Ninguno	8	≡ Derecha	🔑 Escala	👉 Entrada

Anexo 10.

Resultados de entrevista.

- 1. Según su experiencia, ¿cuáles son las tres prácticas cotidianas de los estudiantes que más contribuyen a la huella ecológica del campus? (Ej.: consumo de energía, generación de residuos, transporte)**

El profesional señala al consumo de energía como la práctica puntual que contribuye a la huella de carbono, mientras que la generación de residuos se mantiene una baja cultura de una limpieza sus áreas de trabajo y para el transporte por la limitación del área del campus se frecuente el caminar de los estudiantes, es decir, que el tráfico no es un problema en la mayor parte del tiempo.

- 2. ¿Cómo percibe la efectividad de las campañas de concienciación ambiental dirigidas a estudiantes y personal de la UPSE? (Ej.: reciclaje, ahorro energético)**

Aunque existe una frecuente presentación de campañas dedicadas a este ámbito, estos no abordan de forma específica y que demuestre los resultados conseguidos como son en recolección de desechos, por lo tanto, existe la necesidad que estas actividades y que se gestionen de una forma correcta y que se presenten los avances o las mejoras conseguidas que sustente su desarrollo.

- 3. Desde el enfoque de modelación dinámica, ¿qué variables comportamentales de los estudiantes cree que son clave para reducir la huella ecológica?**

Se recomienda que el manejo de desechos, como se explicó anteriormente, al ser un área de estudios el consumo de insumos para el desarrollo de estas actividades cada vez es mayor y una gran parte no son tratados de una forma correcta. Como adicional, la digitalización ha sido fundamental para la generación de menos residuos por la disminución de papel o de distintos materiales de escritura, así mismo, en el ámbito de desarrollo de las clases, se ha reducido las clases en la jornada nocturna de forma presencial, esto promueve a un menor consumo de energía por no utilizar iluminarias, sin embargo, se intensifica otra variable que es el uso del aire acondicionado de forma ineficiente.

4. ¿Cómo podrían integrarse mecanismos de retroalimentación inmediata (ej.: paneles informativos, apps) para incentivar acciones responsables en los estudiantes?

De forma perspectiva del entrevistado, sugiere la presentación de paneles informativos en las entradas y salidas de la institución, otra posible estrategia de incentivar a un menor consumo energético es introducir un mensaje llamativo de inicio en las pantallas de equipos en las aulas o laboratorios sobre el uso responsable, pero que no sea tan repetitivo para evitar disgustos a quien utiliza el dispositivo.

5. ¿Qué estrategias pedagógicas o participativas recomendaría para fomentar una cultura de reducción de huella ecológica entre los estudiantes?

Acciones que están vinculadas con la huella ecológica, es la utilización de plataformas como el aula virtual para la digitalización de documentos o actividades, esto permite la reducción de utilización de recursos que provoquen un aumento de la generación de residuos de forma factible.

6. ¿Cómo podría la UPSE medir el impacto de las acciones estudiantiles en la reducción de la huella ecológica a corto y largo plazo?

Para la medición de las acciones, es necesario de la cuantificación de lo que se plantea, mediante el desarrollo de un modelo, aplicar métodos que permita la medición del impacto con el uso de variables relacionadas, además, de la elaboración de un diagnóstico inicial y del seguimiento de los indicadores, además de considerar futuras encuestas que involucra al personal de diferentes áreas en la institución para tener un enfoque más amplio sobre la acciones que se toman con relación de la huella ecológica. Como adicional, se recomienda un consumo energético por cada edificio para conseguir datos con mayor precisión en distintos periodos.

7. ¿Cuáles son los principales obstáculos para que los estudiantes, docentes y personal administrativo para que adopten prácticas sostenibles de manera consistente?

Como opinión, se indica que no hay obstáculos para la aplicación de estas prácticas solo es concientizar las acciones necesarios, sin embargo, de forma específica a la gestión de residuos de forma actual existe una ausencia de lugares donde se identifique o etiquete esta cultura.

8. ¿Qué rol deberían tener todas las facultades de la institución en promover soluciones tecnológicas sencillas para reducir la huella ecológica?

Se sugiere que todas las facultades inciten a la promoción de proyectos ambientales de distintos ámbitos y establezca el aporte a una reducción de este tipo de indicadores, aunque se presenten de forma constante trabajos similares que integran la parte ambiental pero no son medidos de forma detallada y es necesario fomentar esta acción.

9. Si tuviera que priorizar una acción liderada por facultad para reducir la huella ecológica del campus, ¿cuál sería y por qué?

Una posible acción es la clasificación de desechos y promover una cultura ambiental por parte de los estudiantes, esto de forma indirecta, también involucra a distintos lugares que

puedan considerar estas acciones y que no solo se limite dentro de las instalaciones de cada facultad en la Upse.

10. ¿Qué mecanismos de incentivo (no monetarios) podrían implementarse para reconocer a los estudiantes o grupos más comprometidos con la sostenibilidad?

Como parte de los incentivos, pueden ser los reconocimientos y de capacitaciones, ya que como profesional o estudiante se prioriza la formación permanente, además, que esto permita avalar los conocimientos indicados y ser establecidos en la hoja de vida.