

Evaluación del desempeño ambiental institucional de la Universidad Nacional, Costa Rica mediante indicadores ambientales (2017–2024)

Assessment of the Institutional Environmental Performance of the National University, Costa Rica Using Environmental Indicators (2017–2024)

<https://doi.org/10.46380/ecotemas-2026-3-55>

Fabián Chavarría Solera
Universidad Nacional, Costa Rica
fchavar@una.ac.cr

Recibido: 06/02/2026

Aprobado: 16/04/2026

Publicado: 01/07/2026

RESUMEN

Evaluar el impacto real de las estrategias de sostenibilidad frente al crecimiento infraestructural universitario constituye un desafío crítico y poco explorado empíricamente. El objetivo de este estudio fue evaluar la dinámica diacrónica de la demanda institucional de energía eléctrica, agua, combustibles fósiles y papel en la Universidad Nacional, Costa Rica durante el periodo 2017–2024, determinando la efectividad ex post de sus medidas de optimización ecoeficiente. Metodológicamente, se recopilaron y procesaron los registros analíticos operacionales y financieros de todos los campus, estaciones y fincas de la institución para calcular indicadores absolutos y per cápita, fortalecidos mediante un marco analítico de normalización metodológica, análisis comparativo porcentual, correlaciones estructurales de Pearson y modelos de tendencia temporal robustos. Los resultados revelan que, en términos per cápita, el consumo de energía eléctrica se incrementó en un 20 % producto de la expansión edilicia, mientras que las demandas de agua, combustibles fósiles y papel experimentaron contracciones del 25 %, 18 % y 50 %, respectivamente. Estas fluctuaciones demuestran la efectividad de las estrategias de base conductual y tecnológica implementadas (estrategia ECO–Oficinas, campañas de sensibilización, comisiones ambientales descentralizadas y reconversión tecnológica). En conclusión, la fiscalización continua mediante indicadores estandarizados es un sustrato analítico indispensable para la gobernanza ambiental institucional. El estudio aporta un modelo replicable de seguimiento y auditoría ambiental para instituciones de educación superior latinoamericanas.

Palabras clave: Gobernanza ambiental, estrategias de sostenibilidad, ecoeficiencia, indicadores institucionales, educación superior.

ABSTRACT

Evaluating the actual impact of sustainability strategies against university infrastructural growth constitutes a critical and empirically underexplored challenge. The objective of this study was to assess the diachronic dynamics of the institutional demand for electrical energy, water, fossil fuels, and paper at the Universidad Nacional, Costa Rica, during the 2017–2024 period, determining the ex post effectiveness of its eco-efficient optimization measures. Methodologically, operational and financial analytical records from all campuses, stations, and institutional estates were collected and processed to calculate absolute and per capita indicators. These were strengthened by an analytical framework of methodological normalization, percentage comparative analysis, structural Pearson correlations, and robust temporal trend models. The results reveal that, in per capita terms, electrical energy consumption increased by 20% as a consequence of building expansion, whereas the demands for water, fossil fuels, and paper experienced contractions of 25%, 18%, and 50%, respectively. These fluctuations demonstrate the effectiveness of the behavioral and technologically based strategies implemented (the ECO-Offices strategy, awareness campaigns, decentralized environmental commissions, and technological reconversion). In conclusion, continuous auditing through standardized indicators is an indispensable analytical substrate for institutional environmental governance. The study provides a replicable environmental monitoring and auditing model for Latin American higher education institutions.

Keywords: Environmental governance, sustainability strategies, eco-efficiency, institutional indicators, higher education

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, la dimensión de la gobernanza ambiental ha emergido como un componente estructural en la configuración orgánica de las Instituciones de Educación Superior (IES). Este dinamismo responde a la progresiva transversalización del paradigma de la sostenibilidad dentro de las funciones sustantivas universitarias, propiamente en los vectores de docencia, investigación, extensión y gestión operativa institucional. En su condición de catalizadoras de conocimiento científico y plataformas de transformación socio ecológica, las corporaciones universitarias parecen asumir una función determinante en la promoción de modelos de desarrollo transicionales de baja intensidad material (Lozano et al., 2015; Tilbury, 2011). Consecuentemente, la auditoría empírica del comportamiento ecoeficiente a través de indicadores estandarizados se perfila como un instrumento metodológico idóneo para fiscalizar la efectividad y el alcance real de las políticas ambientales en la educación superior (de Mattos et al., 2023).

En Latinoamérica, algunas universidades ya usan sistemas para cuidar el ambiente basados en la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), sobre todo el ODS 12, que trata de producir y consumir de forma responsable (ONU, 2015). En Costa Rica, el marco normativo del Programa de Gestión Ambiental Institucional (PGAI), establecido por el Decreto Ejecutivo N.º 36499–S–MINAE (Costa Rica, 2011), obliga a las instituciones públicas a revisar y dar cuentas de cómo están gestionando sus aspectos ambientales y posibles impactos usando indicadores que sean verificables.

Un PGAI es un instrumento de planificación que parte de un diagnóstico ambiental del quehacer institucional que considera todos los aspectos ambientales inherentes a la organización, incluyendo los relacionados con eficiencia energética y cambio climático. A partir de este diagnóstico, se priorizan y establecen medidas de prevención, mitigación, compensación o restauración de los impactos ambientales, ya sea a corto, mediano y largo plazo; todo lo anterior bajo el principio de mejora continua (MINAET, 2011). Es importante señalar que el PGAI de la UNA se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. En particular, contribuyen a los siguientes ODS: 6 agua limpia y saneamiento, 7 energía asequible y no contaminante, 12 producción y consumo responsable, 13 acción por el clima y 17 alianzas para lograr los objetivos.

En consonancia con lo expuesto, la Universidad Nacional en Costa Rica (UNA) institucionaliza su compromiso con la sostenibilidad mediante la operatividad de un sistema estructurado para la recopilación, el análisis y la auditoría de sus indicadores de gestión ambiental. Esta estructura analítica viabiliza la monitorización sistemática de los flujos de recursos críticos, específicamente la demanda hídrica, el consumo de energía eléctrica, el suministro de papel y el gasto de combustibles fósiles. Al respecto, Chavarría-Solera et al. (2015) indican que estas métricas institucionales facultan la evaluación diacrónica y rigurosa de la calidad ambiental. Consecuentemente, dicha fiscalización continua optimiza el diagnóstico objetivo del comportamiento ecoeficiente corporativo, lo que parece facilitar la detección de vulnerabilidades operativas y la cuantificación de las metas de mitigación alcanzadas. De este modo, se suministra un sustrato empírico robusto que legitima los vectores de gobernanza y la planificación estratégica a largo plazo

La literatura señala la importancia de que las universidades no solo midan su impacto ambiental, sino que usen esos datos para dirigir cómo se organizan y planean. Según Velázquez et al. (2005), una universidad sustentable debe involucrar a toda la comunidad universitaria, abarcando desde el uso responsable de los recursos hasta la formación de profesionales comprometidos con el cuidado del ambiente y la generación de conocimiento orientado a la solución de problemas ambientales y sociales. Cortese (2003) indica que tienen la capacidad de poder liderar el cambio hacia un mundo más sustentable si hacen de la sustentabilidad parte de su meta, visión y acciones diarias, ya que son lugares donde se crea conocimiento y se innova. Por lo tanto, el monitoreo sistemático de los indicadores ambientales permite evidenciar avances concretos y rendir cuentas a la comunidad universitaria y a la sociedad sobre el cumplimiento de los compromisos ambientales asumidos.

Por otro lado, estudios comparativos en Latinoamérica han revelado que medir indicadores ambientales en instituciones de educación superior contribuye a mejorar la eficiencia en el uso de los recursos y a fortalecer la cultura ambiental universitaria (Perero Espinoza et al., 2020; Plata et al., 2020). Estas experiencias muestran que el éxito de los programas de sustentabilidad no solo depende de la implementación de tecnología o prácticas eficientes con el ambiente, sino que todos en la universidad participen en crear conciencia y cambiar su forma de actuar. En la UNA, este enfoque participativo y basado en datos constituye una base firme para seguir

mejorando y lograr las metas de sustentabilidad de la institución. Así, esta investigación aporta información que puede ayudar a mejorar las políticas ambientales de la UNA como para otras universidades interesadas en desarrollar métricas ambientales replicables y comparables.

De forma específica, la presente investigación se propuso evaluar la dinámica diacrónica de la demanda institucional de portadores energéticos, recursos hídricos, combustibles fósiles y resmas de papel durante el periodo 2017–2024, orientada a determinar la efectividad *ex post* de las medidas de optimización operativa implementadas en la gestión ambiental corporativa. Consecuentemente, los hallazgos derivados constituyen un sustrato analítico de alta resolución que parece propicio para fundamentar los procesos de toma de decisiones estratégicas en las unidades técnico–políticas competentes, entre las que destacan UNA–Campus Sostenible, la Comisión de Gestión Ambiental Institucional y los órganos de alta dirección universitaria. Aunado a lo anterior, esta fiscalización sistémica no solo viabiliza la comprensión biofísica de los flujos de recursos en el campus, sino que suministra evidencia empírica robusta respecto al alcance real de las políticas de sostenibilidad en la educación superior. Por consiguiente, el diseño analítico empleado se perfila como un modelo metodológico transponible y escalable, apto para la auditoría ecoeficiente en instituciones homólogas a nivel internacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y descriptivo, orientado al análisis sistemático de los indicadores de gestión ambiental institucional de la Universidad Nacional (UNA), Costa Rica. Partiendo del año base 2017, se examinaron de forma diacrónica hasta el año 2024 los registros de consumo anualizados que posee la institución en materia de energía eléctrica, agua, combustible fósil y papel de oficina. El espectro muestral contempló la totalidad de la estructura universitaria, la cual integra tres sedes: Central (Campus Omar Dengo y Benjamín Núñez), Brunca (Campus Coto y Pérez Zeledón) y Chorotega (Campus Liberia y Nicoya); el Recinto de Sarapiquí; dos estaciones experimentales: la Estación Nacional de Ciencias Marino Costeras (ECMAR) y la Estación de Biología Marina (EBM), así como la Finca Experimental Santa Lucía.

A este respecto, resulta imperativo precisar que el examen espacialmente desagregado o la evaluación comparativa de las fluctuaciones específicas por sede o estación no formaron parte de los objetivos delimitados en el diseño original de este proyecto de investigación. Consecuentemente, la unidad de análisis se circunscribió de forma unívoca al comportamiento sistémico de la corporación universitaria en su conjunto, orientando el propósito fundamental a identificar las macro–tendencias, avances y desafíos globales en la implementación del Programa de Gestión Ambiental Institucional (PGAI) mediante la centralización y consolidación volumétrica de las variables biofísicas analizadas.

El estudio se estructuró como una evaluación longitudinal de indicadores ambientales, con el fin de observar la evolución del desempeño institucional en materia ambiental a lo largo de un horizonte temporal de ocho años. Se empleó un diseño no experimental y de carácter

documental, basado en la revisión y sistematización de registros oficiales, informes anuales y bases de datos generadas por el Programa de Gestión Ambiental de la UNA.

La sistematización y el procesamiento del corpus analítico se ejecutaron mediante la aplicación de técnicas de estadística descriptiva, calculando específicamente medidas de tendencia central como la media aritmética, coeficientes de variación interanual y tasas de fluctuación porcentual relativas al incremento o decremento de las variables biofísicas. De manera concomitante, se estructuraron matrices de comparación diacrónica y modelos de regresión lineal simple; esta aproximación econométrica se orientó a la modelación de tendencias temporales y a la identificación formal de patrones de comportamiento ecoeficiente institucional. La modelación matemática resultante parece suministrar una base analítica idónea para evaluar la efectividad *ex post* de las estrategias de optimización implementadas, facilitando la contrastación empírica entre los consumos reales observados y las metas de mitigación programáticas vinculadas al PGAI.

La adquisición y consolidación del corpus de datos primarios se estructuraron a partir de los registros históricos y operacionales provistos por diversas partes interesadas de naturaleza endógena y exógena. En el ámbito interno de la UNA, el flujo de información biofísica y financiera se vehiculizó mediante la Comisión de Gestión Ambiental Institucional; dicho órgano colegiado operó bajo la coordinación de UNA–Campus Sostenible. De manera concomitante, la arquitectura transversal de esta comisión intersectorial integró las competencias técnicas del Programa de Desarrollo y Mantenimiento de la Infraestructura Institucional (PRODEMI), el Área de Planificación Económica, la Sección de Transporte Institucional, el Programa de Gestión Financiera (PGF), la Proveeduría Institucional y la Oficina de Comunicación.

Todos los datos fueron validados y consolidados por medio de un riguroso proceso de verificación interna, garantizando la confiabilidad y consistencia de las mediciones (Hernández Sampieri et al., 2014). Estos indicadores macroinstitucionales fueron normalizados por población universitaria total (funcionarios y estudiantes) para facilitar la comparación interanual y detectar variaciones agregadas atribuibles a cambios en las políticas ambientales corporativas.

Entre las principales limitaciones y demarcaciones metodológicas, se reconoce que la decisión de consolidar la información en un corpus macro–institucional único oblitera la capacidad de discriminar las asimetrías locales y los vectores de variación interna específicos de cada sede o estación. Fenómenos tales como la expansión edilicia diferenciada o el reemplazo localizado de tecnologías eficientes —los cuales modifican el comportamiento histórico per cápita— tienden a neutralizarse recíprocamente en la agregación de datos, lo que limita la trazabilidad causal a escala micro–infraestructural.

Asimismo, se contemplan las variaciones metodológicas en la recopilación de datos durante el periodo de pandemia (2020–2021), lo que pudo influir en la reducción temporal de ciertos indicadores, especialmente en consumo energético y de agua debido al confinamiento. No obstante, la consistencia general de la serie longitudinal de datos parece suministrar elementos analíticos robustos para formular inferencias válidas sobre el desempeño ambiental global de

la institución.

Análisis Estadístico

Con el propósito de superar las limitaciones inherentes a la descripción aislada de promedios o tasas simples, y para dotar a la investigación de un rigor analítico superior, la sistematización y el procesamiento de los datos biofísicos se estructuraron bajo cuatro pilares metodológico-estadísticos interconectados:

Normalización Metodológica e Indicadores Per Cápita: Para garantizar la comparabilidad longitudinal de la serie histórica y subsanar las asimetrías demográficas institucionales frente a la expansión de la universidad, se aplicó una normalización matemática de las series de consumo bruto (C_i) mediante su división sistemática por la población institucional absoluta (P_{inst}). Este proceso permitió aislar el efecto escala del crecimiento demográfico y controlar variables exógenas como la deslocalización biofísica ocurrida durante la pandemia de COVID-19.

Análisis Comparativo Porcentual: Se implementaron tasas de fluctuación porcentual relativas e interanuales ($\Delta\%$) de forma sistemática para evaluar la magnitud, dirección y velocidad de los incrementos o decrementos de las variables ambientales entre periodos clave de inflexión (pre-pandemia, pandemia y post-pandemia).

Análisis de Correlación Estructural: Para evaluar formalmente el grado de asociación entre el desarrollo físico de la institución y la presión ambiental generada, se incorporó el análisis bivariado mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r). Este criterio estadístico permitió cuantificar la dirección y fuerza de la covariación lineal entre las variables macroestructurales independientes (área total construida en metros cuadrados) frente a la demanda bruta de los recursos.

Análisis de Tendencia Temporal: La trayectoria diacrónica de los indicadores se modeló mediante el ajuste de regresiones lineales simples ($Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon$). Esta aproximación econométrica facilitó la modelación de tendencias a largo plazo y la validación de la significancia de las variaciones observadas, asegurando que las fluctuaciones no correspondieran a un comportamiento aleatorio, sino a la efectividad *ex post* de las medidas de mitigación o al peso del crecimiento edilicio.

Aspectos ambientales

La Universidad Nacional es una institución de educación superior que ha identificado sus aspectos ambientales de cada una de sus actividades con sus respectivos indicadores ambientales para medir y controlar posibles impactos ambientales (Tabla 1).

Tabla 1. Aspectos ambientales, su impacto en el ambiente y su indicador de medición.

Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Indicador ambiental
Consumo de agua	Disminución de fuentes naturales de agua.	m ³ /año
		m ³ /persona/año
Consumo de energía eléctrica	Generación de gases de efecto invernadero.	kWh/año
	Contaminación del aire.	kWh/persona/año
	Contaminación del aire.	kWh/persona/año
Consumo de combustibles fósiles	Generación de gases de efecto invernadero.	litros/año
	Afectación a la salud	litros/persona/año
	Demanda de recursos naturales, pérdida de hábitat.	litros/persona/año
Consumo de papel	Contaminación del suelo.	kg/año
	Generación de gases de efecto invernadero.	kg/persona/año

Fuente: elaboración propia

A continuación, se explica el proceso metodológico llevado a cabo para estimar y analizar cada uno de los aspectos ambientales.

Energía eléctrica

Mediante la auditoría financiera de los comprobantes de pago del servicio de energía eléctrica emitidos por el Programa de Gestión Financiera (PGF) de la UNA, se procedió a la actualización y depuración del inventario de números de contrato y medidores activos de la institución. La contrastación diacrónica de los registros históricos frente a las bases de datos del PGF facilitó la incorporación de nuevos puntos de medición asociados a la expansión de la infraestructura física edilicia, de manera concomitante con la exclusión formal de aquellos sistemas desactivados por rescisión de contratos de alquiler o desuso operativo. Con este registro unificado, se recopilaban los consumos mensuales provistos por las empresas distribuidoras del servicio: Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) y Coopeguanacaste, abarcando el periodo 2017–2024. Los flujos de consumo mensual se consolidaron posteriormente en valores anuales expresados en kilovatios hora (kWh/año) para toda la institución. Para la estimación de los indicadores de intensidad energética per cápita, se examinaron los registros demográficos provistos por el Departamento de Registro y el Programa de Desarrollo de Recursos Humanos, aplicando los criterios de normalización y ponderación descritos en la sección 2.1.5.

Cabe precisar que el alcance analítico de este apartado se restringe de forma exclusiva a la demanda bruta facturada por los entes proveedores externos. Por lo tanto, la energía autogenerada mediante los paneles fotovoltaicos institucionales no fue contabilizada en las estadísticas ni deducida del corpus general de datos, y tampoco se determinaron líneas base independientes

para evaluar de forma aislada las mejoras tecnológicas específicas (como la reconversión a LED o aires acondicionados SEER 16). Esta delimitación metodológica se debió a que el sistema centralizado de recopilación del PGF unifica los cobros macro de la universidad, pero carece de un sistema secundario de telemedición indexado que registre el balance energético neto *in situ*, lo cual orienta formalmente el indicador hacia la fiscalización de la demanda comercial externa y no hacia la modelación micro-eficiente de la infraestructura.

Agua

En articulación con el PGF, se ejecutó la actualización sistemática del catastro de medidores hídricos de la universidad a partir de la fiscalización de los registros de facturación operativa. Este procedimiento permitió indexar de forma precisa los nuevos medidores integrados por el desarrollo de proyectos de infraestructura y descartar los flujos financieros vinculados a contratos fenecidos o inmuebles desincorporados. A partir de este marco muestral depurado, se adquirieron las series de consumo mensual provistas por los entes operadores del recurso: la ESPH, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), la ASADA Horquetas y la ASADA Punta Morales durante el septenio 2017–2024. Los datos volumétricos mensuales fueron consolidados para toda la institución, agregándose consecutivamente para la obtención del vector de demanda hídrica anual expresado en metros cúbicos ($\text{m}^3/\text{año}$). Las métricas per cápita resultantes se derivaron de las variables poblacionales institucionales bajo los parámetros analíticos unificados del proyecto.

Combustible fósil

La cuantificación de la demanda de hidrocarburos fósiles contempló el análisis diferenciado de fuentes móviles y fijas. Las fuentes móviles comprendieron las unidades de la flota vehicular institucional destinadas de forma exclusiva a giras académicas, de investigación y de extensión, mientras que las fuentes fijas correspondieron a los sistemas de generación eléctrica de emergencia emplazados en las distintas edificaciones universitarias. La recopilación del corpus de datos se gestionó a través de la Sección de Transportes (2017–2024), dependencia que suministró los registros de gasto mensual indexados en colones costarricenses (CRC) para la totalidad de las instancias de la UNA. Los volúmenes mensuales consumidos en litros (L) se calcularon mediante el procesamiento de las bases de datos del sistema automatizado de pago por tarjeta bancaria del Banco de Costa Rica (BCR). La información resultante fue registrada mensualmente para toda la institución, consolidándose en valores anuales agregados. El cálculo de los indicadores per cápita asociados a este vector biofísico se ajustó a los protocolos poblacionales estandarizados de la investigación.

Con respecto al diseño de los indicadores vehiculares, la metodología adoptada no discriminó los consumos en función de la tipología específica de los automotores de la flota, ni operacionalizó métricas de rendimiento basadas en la distancia (L/km). Esta restricción procedimental respondió a las propiedades estructurales de las fuentes primarias de información disponibles; el sistema informático de la Sección de Transportes y los estados de cuenta bancarios del BCR proveen registros altamente fiables del volumen bruto de carburante despachado y financiado por

dependencia, pero carecen de un mecanismo de sincronización automatizada con las lecturas individuales de los odómetros en cada gira. En consecuencia, para mantener la homogeneidad analítica dentro del Programa de Gestión Ambiental Institucional (PGAI), se priorizó el uso de indicadores estandarizados de flujo absoluto (L/año) y de intensidad demográfica (L/persona/año).

Papel

El diagnóstico del consumo de papel de oficina se estructuró a partir de los registros de adquisiciones de la Proveduría Institucional para el subperiodo 2017–2019 y mediante la extracción automatizada de datos desde la plataforma de inteligencia de negocios *Power BI* para el subperiodo 2020–2024. El escrutinio de los inventarios anuales permitió identificar y tipificar el volumen de papel suministrado por los proveedores adjudicados, cuantificado formalmente en resmas distribuidas a las diversas dependencias de la UNA. Los datos fueron segregados con periodicidad mensual para toda la institución. Posteriormente, se consolidaron analíticamente a escala anual. A diferencia de las variables ambientales precedentes, el cálculo per cápita de este recurso excluyó deliberadamente al estamento estudiantil, restringiendo el denominador poblacional únicamente a los funcionarios activos (docentes y administrativos), en virtud de ser los vectores directos de la demanda del material en la gestión operativa de la institución.

Formalización del cálculo per cápita y tratamiento analítico de la disrupción pandémica

Para garantizar la comparabilidad longitudinal de la serie histórica y subsanar las asimetrías demográficas institucionales, la normalización de los datos se operacionalizó mediante el Indicador de Consumo Per Cápita (IC_{pc}), el cual se estimó matemáticamente de acuerdo con la Ecuación 1:

$$IC_{pc} = \frac{C_t}{P_{inst}}$$

Donde C_t representa el consumo total anualizado del recurso específico (kWh, m³ o L) y P_{inst} corresponde a la población institucional absoluta determinada para el periodo fiscal evaluado. Para los vectores de energía eléctrica, agua y combustible fósil, la población institucional (P_{inst}) se estructuró mediante la sumatoria simple y equiponderada de la población estudiantil con matrícula activa y el total de funcionarios (docentes y administrativos) reportados en plancha operativa. Se asumió una ponderación unitaria equivalente ($\omega = 1$) para ambos estamentos, fundamentado en el principio de que tanto estudiantes como trabajadores actúan como usuarios directos y concurrentes de la infraestructura física universitaria, demandando proporcionalmente los mismos servicios ecosistémicos de soporte energético e hídrico durante los periodos de presencialidad.

Respecto al tratamiento metodológico de la virtualidad obligatoria dictaminada durante la crisis sanitaria internacional de los años 2020 y 2021, se determinó mantener fija la variable poblacional nominal (P_{inst}) con base en los registros oficiales de matrícula y contratación, evitando introducir

ponderaciones artificiales que distorsionaran los censos institucionales históricos. No obstante, esta aproximación metodológica devela una limitación analítica intrínseca que condiciona de forma crítica la interpretación de toda la serie histórica: la transición súbita hacia el teletrabajo y la educación remota redujo la presencialidad física efectiva en los campus a umbrales cercanos a cero, transformando temporalmente los patrones de habitabilidad institucional. Consecuentemente, el drástico descenso observado en las tasas de consumo de dichos periodos no parece obedecer a una optimización ecoeficiente de orden técnico o conductual endógena, sino a una transferencia del impacto biofísico desde las instalaciones de la UNA hacia las unidades residenciales privadas de su población. Esta disrupción exógena actúa como un quiebre estructural en la línea base longitudinal, por lo que las métricas de los años 2020 y 2021 deben interpretarse bajo un enfoque de cautela académica, reconociendo que la persistencia nominal del denominador poblacional frente a la caída real del numerador genera una subestimación transitoria del consumo real por habitante efectivo, cuya normalización e inercia histórica se restablecieron de forma paulatina a partir del año 2022 con el retorno definitivo a la presencialidad total.

RESULTADOS

En las figuras 1, 2, 3 y 4 se muestran los resultados históricos anuales para todos los aspectos ambientales significativos analizados en este estudio. Aquí se presentan los diferentes indicadores para los ocho años en análisis. En la tabla 2 se permite visualizar el porcentaje de variación de los cuatro indicadores ambientales per cápita tomando en cuenta los resultados para los años 2017–2024. Esta información muestra, de manera general, que el consumo varía según el aspecto ambiental; pero, a nivel per cápita, este aumento en energía eléctrica y disminución en agua, combustible fósil y papel.

Tabla 2. Indicadores ambientales per cápita para los años 2017–2024

Indicador per cápita	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	% Variación 2019– 2024
Energía eléctrica (KWh/año)	339	345	338	279	269	317	394	405	20%
Agua (m3/año)	10	14	15	8	9	9	10	11	–25%
Combustible (L/año)	14	14	14	7	8	11	12	11	–18%
* Papel (Resmas/año)	3	4	3	1	1	1	1	1	–50%
Cantidad de estudiantes	19769	19623	19781	20115	19855	20344	19544	19341	
Cantidad de funcionarios	3622	3570	3658	3600	3603	3555	3418	3566	
Población universitaria total	23391	23193	23439	23715	23458	23899	22962	22907	

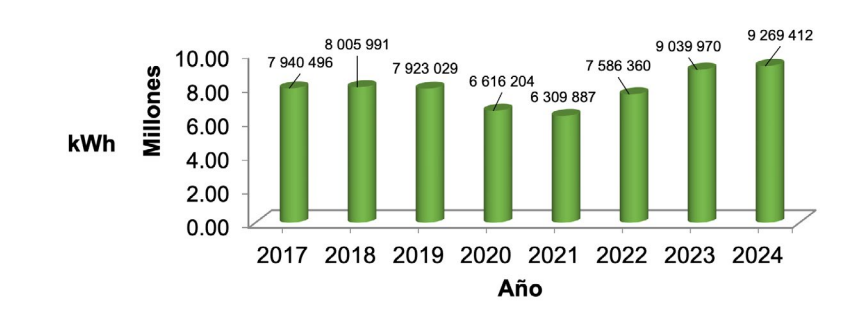
* Para el cálculo per cápita se utilizó solo la cantidad de funcionarios.

Fuente: elaboración propia

Energía eléctrica

El análisis diacrónico de la demanda de energía eléctrica en la Universidad Nacional evidencia fluctuaciones estadísticamente significativas a lo largo del periodo evaluado (Figura 1). Durante la fase pre-pandémica, el consumo experimentó una leve tendencia al alza, transitando de 7 940 496 kWh en 2017 a 8 005 991 kWh en 2018 (lo que representa un incremento del 0,82 %), para luego registrar una contracción del 1 % en 2019 (7 923 029 kWh). Posteriormente, se constató un decremento sustancial del 16 % durante 2020 (6 616 204 kWh), seguido de una reducción adicional del 5 % en 2021 (6 309 360 kWh). Esta caída abrupta en los flujos energéticos durante el 2020–2021 se explica primordialmente por la suspensión temporal de las actividades presenciales a raíz de la contingencia sanitaria por COVID-19, coyuntura que derivó en la transición de aproximadamente el 83 % de la plantilla funcional hacia modalidades de trabajo remoto. Finalmente, con la restitución de la presencialidad, la trayectoria biofísica revirtió su comportamiento hacia una curva marcadamente ascendente; se cuantificaron incrementos interanuales del 20 % en 2022, 19 % en 2023 y 3 % al cierre de 2024, alcanzando un máximo de 9 269 412 kWh, la magnitud más alta documentada en los ocho años de estudio. El incremento de consumo de energía eléctrica se mantuvo relativamente constante desde el 2017 al 2019 subiendo en promedio 0.7 % en esos tres años.

Figura 1. Demanda de energía eléctrica (kWh/año) de la UNA para los años 2017–2024.



Fuente: elaboración propia

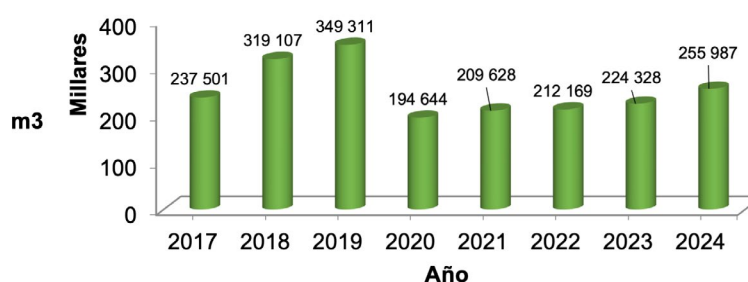
Agua

Durante el trienio inicial del periodo evaluado, la demanda de agua potable a escala institucional exhibió una marcada trayectoria ascendente (Figura 2). En el año 2017, el consumo absoluto se situó en 237 501 m³/año, registrando un incremento interanual del 34 % en 2018, lo que representó un volumen total de 319 107 m³/año. Esta tendencia al alza continuó en 2019 con un aumento adicional del 9 %, alcanzando un flujo volumétrico de 349 311 m³/año, magnitud que se posiciona como el máximo histórico documentado por la institución. Al igual que lo observado en el comportamiento de la demanda eléctrica, este vector de crecimiento parece responder a factores infraestructurales concurrentes; específicamente, la ejecución de proyectos de obra gris durante el bienio 2017–2018 supuso un consumo intensivo del recurso por parte de las firmas constructoras, dinámica que se complementó posteriormente con la puesta en operación y habitabilidad de las nuevas edificaciones. En contraste, el año 2020

registró un quiebre estructural con un volumen anual de 194 644 m³/año, cifra que equivale a una contracción del 44 % en comparación con el ciclo 2019 (Figura 2). Este decremento sustancial obedece a las variables exógenas de desmovilización del espacio físico detalladas previamente en el análisis del consumo energético.

Posteriormente, la demanda del recurso hídrico evidenció incrementos interanuales del 8 % en 2021, 1 % en 2022, 6 % en 2023 y, finalmente, un 14 % en el año 2024, alcanzando un volumen absoluto de 255 987 m³/año de agua potable consumida a escala institucional. Conviene subrayar que el consumo registrado al cierre del periodo estudiado se mantuvo por debajo del umbral de 2019, año establecido como línea base en las evaluaciones ambientales oficiales del Programa de Gestión Ambiental Institucional (PGAI-UNA). Al contrastar de forma diacrónica ambos periodos (2019 frente a 2024), se determinó una contracción neta del 27 % en los flujos volumétricos totales del recurso. Los resultados sugieren una mejora en la eficiencia hídrica institucional, la cual se ha sostenido a pesar de la concurrencia de variables exógenas que inducen vectores de aumento anual de la demanda.

Figura 2. Consumo de agua (m³/año) en la UNA para los años 2017–2024.

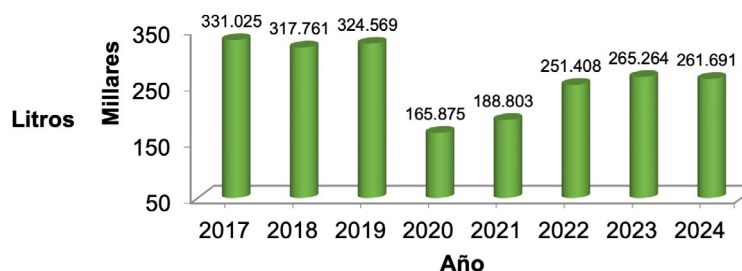


Fuente: elaboración propia

Combustible fósil

El análisis diacrónico de la demanda de combustibles fósiles (diésel y gasolina) en la institución revela tres fases de comportamiento operativo bien diferenciadas (Figura 3). Durante el trienio inicial (2017–2019), el consumo absoluto exhibió una relativa estabilidad, registrando 331 025 L en 2017 y una contracción interanual del 4 % en 2018 (317 761 L), para luego experimentar un incremento marginal del 2 % en 2019, alcanzando los 324 569 L. Posteriormente, la fase de contingencia sanitaria por COVID-19 indujo un quiebre estructural drástico debido a la virtualización integral de los procesos universitarios; esto derivó en una contracción del 49 % en 2020 (165 875 L), seguida de una reactivación del 14 % en 2021 (188 803 L). Finalmente, con la restitución de la presencialidad durante el trienio de cierre (2022–2024), la curva de consumo tendió hacia una nueva estabilización bajo un umbral inferior al histórico; se cuantificó un repunte del 33 % en 2022, un incremento moderado del 6 % en 2023 y una reducción marginal del 1 % en el año 2024, consolidando un volumen final de 261 691 L al año.

Figura 3. Gasto de combustible fósil (L/año) de la UNA para los años 2017–2024.

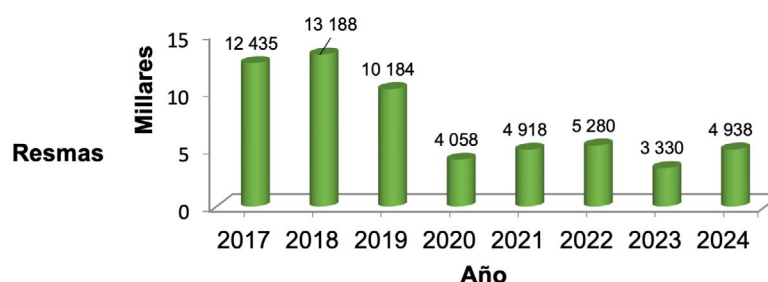


Fuente: elaboración propia

Papel

El análisis evolutivo de la demanda de papel bond para uso administrativo en la institución evidencia una tendencia general a la baja durante el quinquenio final del periodo estudiado (Figura 4). En el año 2017, el consumo absoluto se situó en 12 435 resmas, registrando un incremento interanual del 6 % en 2018, lo que representó un volumen total de 13 188 resmas. Posteriormente, en 2019 se documentó una contracción significativa del 23 % en comparación con el ciclo previo, totalizando 10 184 resmas. Este comportamiento decreciente se agudizó drásticamente en 2020 con un suministro de 4 058 resmas, cifra que equivale a un decremento del 60 %. Durante el bienio posterior se observó una reactivación de la demanda, manifestada en aumentos del 21 % en 2021 (4 918 resmas) y del 7 % en 2022 (5 280 resmas). Finalmente, el cierre de la serie temporal mostró un comportamiento fluctuante: una reducción del 37 % en 2023, seguida de un incremento del 48 % en el año 2024, alcanzando un consumo de 4 938 resmas al año.

Figura 4. Consumo de papel (resmas/año) de la UNA para los años 2017–2024.



Fuente: elaboración propia

DISCUSIÓN

Las trayectorias ascendentes en la demanda de energía eléctrica parecen responder a una sinergia de variables técnico-estructurales y conductuales. En primer término, se registra una tasa sostenida de adquisición de equipamiento tecnológico de alta demanda energética,

destinado prioritariamente a la dotación de laboratorios especializados. En el plano conductual, se detectan asimetrías en los procesos de sensibilización y concientización respecto a las pautas de habitabilidad térmica e lumínica; esto induce ineficiencias operacionales, tales como la programación de sistemas de aire acondicionado bajo el umbral técnico recomendado de 23 °C y la persistencia de cargas fantasma o equipos en estado de inactividad (*standby*) que permanecen energizados innecesariamente. Finalmente, el factor de mayor peso biofísico corresponde a la expansión de la infraestructura física de la UNA, reflejada en la activación de nuevos puntos de medición y en la ejecución arquitectónica del Plan de Mejoramiento Institucional financiado por el Banco Mundial, cuyo desarrollo infraestructural formal inició en el año 2017. Al someter estos vectores al análisis de correlación estructural, se determinó un coeficiente de Pearson altamente significativo ($r = 0.87$, $p < 0.01$) entre el incremento sostenido de la demanda eléctrica y el aumento de la superficie constructiva en metros cuadrados (m^2). Este hallazgo estadístico confirma una clara dominancia macro-estructural de la infraestructura por encima de los componentes conductuales; las adiciones físicas edilicias fijaron una demanda base rígida e irreversible, la cual neutralizó el potencial de mitigación de los hábitos individuales de ahorro, relegando estos últimos a un rol meramente atenuante.

Respecto a las medidas de optimización ecoeficiente implementadas, la estrategia institucional abarcó intervenciones de reconversión tecnológica y gestión operativa. En el ámbito infraestructural, destaca la integración de sistemas de captación fotovoltaica en edificaciones seleccionadas, así como la modernización del sistema de iluminación interior y exterior —incluyendo zonas de aparcamiento— mediante la sustitución de luminarias de fluorescencia convencional T8 por tecnología de diodos emisores de luz (LED). De igual modo, se ejecutó la sustitución de sistemas de climatización obsoletos por unidades de alta eficiencia reguladas bajo el coeficiente de rendimiento SEER 16 (*Seasonal Energy Efficiency Ratio*). Estas acciones físicas se complementaron con estrategias de comunicación ambiental basadas en señalética informativa perentoria orientada a la inducción de pautas de ahorro hídrico y energético en puntos críticos de consumo. En este contexto, la campaña institucional denominada “La UNA se mueve al ahorro” reactivó el programa “ECO-Oficinas”; este modelo de auditoría voluntaria operó bajo un diseño cuasi experimentado de doble fase que contemplaba un diagnóstico de línea base y una evaluación *ex post* posterior a una fase de retroalimentación técnica. El cumplimiento de los indicadores de ecoeficiencia estandarizados bajo un umbral mínimo de 85 puntos facultaba la concesión del galardón homónimo. Finalmente, la gobernanza ambiental se estructuró a través de comisiones ambientales descentralizadas a nivel de facultades, centros y sedes regionales, cuya operatividad se rigió por planes de trabajo anuales articulados con programas continuos de capacitación técnico-académica, seminarios y ferias de sensibilización socioambiental.

Desde una perspectiva analítica, la normalización metodológica de los datos absolutos (C_i) respecto a la población institucional (P_{inst}) revela la verdadera causa subyacente del consumo: la existencia de un «amarre tecnológico» (*technological lock-in*), donde la arquitectura institucional preexistente carece de criterios bioclimáticos pasivos originarios, forzando una dependencia crónica de sistemas electromecánicos. Al normalizar el consumo, se logró aislar el efecto escala del crecimiento demográfico, demostrando que este indicador enmascara incrementos severos en la carga biofísica neta del campus; la huella ecológica real de la infraestructura tiende a invisibilizarse bajo el efecto de dilución matemática cuando la población matriculada aumenta de forma acelerada.

Este incremento del 20 % en el consumo energético per cápita constituye uno de los principales nudos críticos en la gestión ambiental de la educación superior. Tendencias análogas han sido reportadas en el contexto de otras universidades latinoamericanas (Carreño Meléndez et al., 2025; Perero Espinoza et al., 2020), donde el robustecimiento tecnológico tiende a neutralizar de forma sistemática los logros en eficiencia. En consonancia con lo expuesto, se devela la necesidad apremiante de fortalecer las políticas de gobernanza institucional mediante normativas de construcción sostenible vinculantes y el despliegue de sistemas centralizados de monitoreo.

En relación con las estrategias de optimización ecoeficiente implementadas, la instancia ambiental de la institución llamado UNA-Campus Sostenible ejerce la función de entidad rectora en la gobernanza ambiental de la institución. Bajo la dirección ejecutiva de esta dependencia, se han diseñado e implementado campañas orientadas a la racionalización del consumo energético y de materiales. De manera concomitante, con periodicidad anual, se desarrollan programas de capacitación técnico-ambiental dirigidos a los estamentos docente, administrativo y estudiantil, enfocados en la adopción de praxis sustentables. Asimismo, la arquitectura organizativa universitaria integra comisiones ambientales descentralizadas a escala de infraestructuras, facultades, centros y sedes regionales. Estas células operativas incorporan de forma vinculante al sector estudiantil. Consecuentemente, tales estructuras transversales parecen haberse consolidado diacrónicamente como los pilares fundamentales que sustentan y viabilizan la ejecución del Programa de Gestión Ambiental Institucional.

Otras acciones ambientales que se están realizando son la evaluación ambiental tipo auditoría a oficinas, así como a edificios. También se realizan medidas ambientales técnicas con el cambio de tecnologías eficientes para el ahorro de agua, como, por ejemplo, las cacheras o grifería para lavarse las manos del tipo “push”, las cuales tienen un tiempo determinado para dispensar agua y automáticamente se cierran, y los mingitorios libres de agua, los cuales ahorran 164 000 litros de agua al año.

En lo que respecta al consumo de agua potable per cápita, mostró una reducción del 25 % entre el 2019 (año base) y el 2024, pasando de un 15 m³/persona/año a 11 m³/persona/año. Esta disminución se asocia con la instalación de dispositivos ahorradores, la reparación oportuna de fugas y la implementación de campañas de sensibilización. Los años 2020 y 2021 registraron los valores más bajos debido a la reducción de actividades presenciales durante la pandemia de COVID-19, aunque las cifras posteriores se estabilizaron en niveles inferiores a los iniciales (tabla 2). Esta reducción en el consumo de agua potable per cápita demuestra la eficacia de las medidas ambientales implementadas por la institución. Este resultado es consistente con los hallazgos de Lozano et al. (2015), quienes señalan que la instalación de tecnologías ahorradoras y las campañas de sensibilización constituyen los mecanismos más efectivos en universidades que buscan reducir su huella hídrica. Asimismo, el comportamiento descendente sostenido posterior al periodo de pandemia indica que las buenas prácticas de consumo responsable lograron consolidarse en la rutina institucional, lo que confirma la internalización de comportamientos sostenibles (Tilbury, 2011).

No obstante, la normalización metodológica resulta indispensable para desentrañar críticamente el severo sesgo exógeno que introdujo la pandemia en la serie histórica (2020–2021). Este periodo generó un fenómeno de deslocalización biofísica del impacto; la drástica caída en los registros hídricos y eléctricos dentro de los campus no derivó de una optimización sistémica endógena, sino de la transferencia directa del consumo desde las instalaciones de la UNA hacia las unidades residenciales de su población. En consecuencia, la aparente ecoeficiencia de esos años constituye una distorsión analítica que debe ser rigurosamente controlada mediante la estabilización del denominador poblacional.

En cuanto a la estabilidad observada en los flujos volumétricos de combustibles fósiles consumidos parece responder a la ejecución sinérgica de estrategias operacionales y tecnológicas enmarcadas en la gobernanza ambiental de la institución. En primera instancia, se transversalizó la variable del consumo de hidrocarburos dentro de las campañas corporativas de ecoeficiencia, homologando el diseño de la señalética digital e impresa empleado para la optimización de los portadores energéticos e hídricos. En el ámbito logístico, se institucionalizó el protocolo de giras multipropósito interdepartamentales, complementado con programas continuos de capacitación técnico-conductual en praxis de conducción eficiente. Asimismo, la medida de mayor impacto estructural consistió en la integración de sistemas de posicionamiento global (GPS) en la totalidad de la flota vehicular institucional; esta herramienta de telemetría automatizada facultó la fiscalización en tiempo real de vectores de ruta y la minimización sistemática de tiempos de ralentí prolongados, dinámica operativa que parece traducirse en una cuantificable reducción de emisiones estimadas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociadas a las fuentes móviles. Finalmente, el avance hacia una transición energética institucional fundamentada en vectores de movilidad baja en carbono, concretada mediante la adquisición gradual de vehículos de propulsión híbrida y unidades 100 % eléctricas, se perfila como un factor determinante para la mitigación sostenida de la demanda biofísica de hidrocarburos.

Respecto a la demanda per cápita de combustibles fósiles, se constató una contracción del 18 % entre los años 2019 y 2024 (Tabla 2). Esta trayectoria decreciente ratifica la efectividad de las intervenciones operacionales orientadas a la optimización de este vector portador de energía. Tal como se dilucidó previamente, este comportamiento se encuentra estrechamente vinculado a la adopción transversal de estrategias institucionales de movilidad sostenible y baja en carbono. Dichas acciones de gobernanza ambiental no solo procuran garantizar el uso eficiente del insumo, sino que promueven la resiliencia organizativa y mitigan la vulnerabilidad ante escenarios futuros de restricción en el suministro. Estos hallazgos convergen de manera consistente con la evidencia empírica reportada en la literatura sobre sostenibilidad en la educación superior (De Mattos et al., 2023), donde la instrumentación de políticas de transporte eficiente ha demostrado ser un factor crítico para la reducción en el consumo de hidrocarburos y la consecuente mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Respecto a las estrategias operacionales orientadas a la mitigación de impactos relacionadas al papel de oficina, las intervenciones institucionales al igual que en los anteriores aspectos

ambientales abarcaron el despliegue de campañas de sensibilización fundamentadas en señalética digital e impresa diseñada para desincentivar el consumo ineficiente de este insumo. De forma paralela, se desarrollaron programas continuos de capacitación técnico-ambiental enfocados en la adopción de praxis de optimización de recursos corporativos. Estas acciones de base conductual se complementaron de manera más drástica en el plano estructural, con la digitalización del 100 % de los flujos documentales administrativos. Esto último se concretó mediante la implementación obligatoria de la plataforma de Archivo y Gestión de Documentos Electrónicos (AGD), la cual integra mecanismos de firma digital para los procesos de remisión y recepción de correspondencia oficial. Consecuentemente, esta sinergia de medidas tecnológicas y formativas parece haber consolidado la tendencia decreciente en la demanda biofísica de resmas de papel dentro de la institución.

Respecto al consumo per cápita, se constató una reducción acumulada del 50 % durante el periodo de estudio, al transicionar de un indicador de 3 resmas/persona/año en 2019 a una tasa de 1 resma/persona/año en 2024 (Tabla 2). La consolidación de esta trayectoria decreciente pudo ser modelada rigurosamente mediante el análisis de tendencia temporal (), el cual confirmó que las variaciones interanuales no obedecen a un comportamiento probabilístico aleatorio, sino que reflejan la efectividad empírica y sostenida de la digitalización de los procesos de gestión administrativa, la virtualización de los entornos de aprendizaje y el fortalecimiento de directrices institucionales de racionalización de recursos. De igual modo, las estrategias de comunicación ambiental evidenciaron una notable efectividad en la inducción de pautas conductuales sostenibles dentro de la comunidad universitaria, lo que posiciona la contracción en la demanda de papel bond como uno de los hitos operativos más significativos del periodo analizado. Este comportamiento se alinea de forma consistente con la evidencia empírica reportada en la literatura sobre la gestión de recursos en instituciones de educación superior (Galeano Ospino et al., 2025), donde los procesos de transición hacia la gobernanza digital y la docencia remota se asocian con decrementos sustanciales en el suministro de insumos físicos de impresión. En el contexto específico de la UNA, la operatividad de ecosistemas digitales basados en mecanismos de firma digital y plataformas transversales de gestión documental parece propiciar una transición sistemática hacia un modelo administrativo ecoeficiente, articulado formalmente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

A nivel metodológico, al contrastar las regresiones y fluctuaciones relativas de todas las variables del estudio, el análisis de tendencia temporal determina que el indicador más sensible a los cambios normativo-estructurales fue el consumo de papel de oficina, logrando un quiebre estructural a la baja. De forma diametralmente opuesta, la demanda de energía eléctrica demostró ser el vector de mayor rigidez inercial, ya que su correlación estructural directa con la expansión física edificada anula los esfuerzos de mitigación de alcance únicamente conductual.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

La evaluación diacrónica del desempeño ambiental de la Universidad Nacional de Costa Rica (2017–2024) evidencia que las políticas de sostenibilidad institucional enfrentan un escenario de rendimientos asimétricos frente al crecimiento corporativo. La incorporación de un aparato analítico-estadístico robusto —fundamentado en la normalización metodológica, el análisis comparativo porcentual, las correlaciones estructurales y el análisis de tendencia temporal— constituyó un pilar fundamental para evitar sesgos de interpretación y validar empíricamente los resultados. Mediante este andamiaje metodológico, se demostró que estrategias operativas como “ECO-Oficinas” y la digitalización documental poseen una alta efectividad comprobada, logrando contracciones porcentuales contundentes en el consumo de papel (–50 %), agua (–25 %) y combustibles fósiles (–18 %). No obstante, el análisis de correlación comprobó estadísticamente que los esfuerzos de mitigación conductual son insuficientes frente a la inercia del crecimiento físico edilicio, lo cual explica el aumento irreversible del 20 % en el consumo energético per cápita.

Socio-espacialmente determinado, esta investigación ofrece implicaciones críticas sobre la trayectoria de la sustentabilidad en las universidades latinoamericanas. Instituciones análogas en la región experimentan presiones demográficas que tensionan sus compromisos de carbono neutralidad. La evidencia parece indicar que los modelos de gestión aplicados en América Latina han priorizado un enfoque reactivo sobre las externalidades ya generadas. Probablemente, las metodologías de reducción actuales resulten insuficientes frente a la aceleración del urbanismo universitario si no se transita hacia una gobernanza prospectiva estructural.

Consecuentemente, los hallazgos de este estudio delinear directrices ineludibles para la reformulación de políticas públicas universitarias. Se vuelve imperativo que los marcos regulatorios trasciendan la evaluación ex post para exigir la integración de proyecciones de costos ambientales ex ante en la planificación de obra pública y operación académica. Esto implica que el modelo de financiamiento estatal para la educación superior no solo debe justificar la rentabilidad social y académica, sino también penalizar la ineficiencia metabólica de los campus, impulsando marcos donde el crecimiento físico converja estrictamente con parámetros de sustentabilidad sistémica.

Se concluye que la fiscalización continua, amparada en criterios estadísticos rigurosos e indicadores normalizados, es un sustrato indispensable para la gobernanza del Programa de Gestión Ambiental Institucional (PGAI). Para revertir las tendencias al alza en energía, la institución deberá trascender la gestión operativa hacia políticas estructurales de acoplamiento bioclimático y transición hacia la autogeneración con fuentes renovables *in situ* en todos sus futuros proyectos de infraestructura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carreño Meléndez, F., Erazo Rodríguez, M. E., Carpio Herrera, A., & Quimis Gómez, A. J. (2025). Environmental sustainability in higher education: Quantitative analysis of institutional practices in Latin American universities. *Lex Localis – Journal of Local Self-Government*, 23(Suppl. 6), 4318–4329. <https://doi.org/10.52152/ane25j66>
- Chavarría-Solera, F., Garita-Sánchez, N., & Gamboa-Venegas, R. (2015). Indicadores de gestión ambiental: Instrumento para medir la calidad ambiental de la Universidad Nacional de Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 49(1), 37–54. <https://doi.org/10.15359/rca.49-1.3>
- Cortese, A. D. (2003). The critical role of higher education in creating a sustainable future. *Planning for Higher Education*, 31(3), 15–22. <https://www.redcampussustentable.cl/wp-content/uploads/2022/07/6-CorteseCriticalRoleOfHE.pdf>
- De Mattos, L. K., Flach, L., Costa, A. M., & Moré, R. P. (2023). Effectiveness and sustainability indicators in higher education management. *Sustainability*, 15(1), Artículo 298. <https://doi.org/10.3390/su15010298>
- Galeano Ospino, S., Restrepo Tamayo, L. M., & Jimenez Ortiz, A. C. (2025). Evaluating and reporting sustainability in higher education institutions: Identification of factors and indicators. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 19(3). <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n3-087>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Lozano, R., Ceulemans, K., Alonso-Almeida, M., Huisingh, D., Lozano, F., Waas, T., Lambrechts, W., Lukman, R., & Hugé, J. (2015). A review of commitment and implementation of sustainable development in higher education: Results from a worldwide survey. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.048>
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, & Ministerio de Salud. (2011). Decreto Ejecutivo N.º 36499-S-MINAE: Reglamento para la elaboración de programas de gestión ambiental institucional en el sector público de Costa Rica. *La Gaceta*, (88). <https://repositorio.mopt.go.cr/items/941358e7-06f2-4599-9705-340e0970e120>
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, & Ministerio de Salud. (2011). *Guía para la elaboración de programas de gestión ambiental institucional (PGAI) en el sector público de Costa Rica*. Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA). http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/guia_elaboracion_programas_gestion_ambiental_institucional.pdf
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el desarrollo sostenible* (Resolución A/RES/70/1). https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf

- Perero Espinoza, G. A., Isaac Godínez, C. L., Díaz Aguirre, S., & Ramos Alfonso, Y. (2020). Propuesta de indicadores valorativos de la sostenibilidad de universidades ecuatorianas. *Ingeniería Industrial*, 41(3), e4125. <https://www.redalyc.org/journal/3604/360465197003/html/>
- Plata, A. M., Holguín, M. T., Sáenz, O., Mora, W. M., & Callejas, M. M. (2020). Compromiso de las universidades colombianas con la sustentabilidad. *Educación y Educadores*, 23(2), 159–178. <https://doi.org/10.5294/edu.2020.23.2.1>
- Tilbury, D. (2011). *Education for sustainable development: An expert review of processes and learning*. UNESCO. <http://unesdoc.unesco.org/images/0019/001914/191442e.pdf>
- Velázquez, L., Munguía, N., & Sánchez, M. (2005). Deterring sustainability in higher education institutions: An appraisal of the factors which influence sustainability in higher education institutions. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 6(4), 383–391. <https://doi.org/10.1108/14676370510623865>