

Esta entrega es producto de una sumatoria de trabajos afines que complementan un tema en común, varios autores, desde una perspectiva multidisciplinaria. En esta oportunidad se abordan las competencias ambientales que constituyen un reto para los ingenieros industriales y la ingeniería, en general.

De esa manera, el producto integra conocimientos y experiencias que se enriquecen mutuamente. El resultado para los lectores, también ha de ser enriquecedor.

Dr. Francisco Wong Cabanillas

ISBN: 978-612-00-5921-0



9 786120 059210

**IMPRENTA &**  
*Modao* E.I.R.L.  
AL SERVICIO DE LA CULTURA, LA INDUSTRIA Y EL COMERCIO

DESAFÍOS PARA EL INGENIERO INDUSTRIAL: COMPETENCIAS AMBIENTALES



# *Desafíos para el* **INGENIERO INDUSTRIAL:** *COMPETENCIAS AMBIENTALES*

Óscar Tinoco Gómez, Editor

*Desafíos para el*  
**INGENIERO**  
**INDUSTRIAL:**  
*COMPETENCIAS AMBIENTALES*

Edwin Turín Sedano, Fernando Arce Vizcarra,  
Gianni Zelada García, Gary Muñoz Bravo, Luis Benavente Villena,  
Luiggi Cruz Caldas, Óscar Tinoco Gómez, Pablo Gutiérrez Falcón,  
Rosa Moore Torres y Santiago Estrada Nuñez

– Óscar Tinoco Gómez, Editor –

## **Desafíos para el Ingeniero Industrial: Competencias Ambientales**

### Autores

- © Edwin Turín Sedano
- © Fernando Guillermo Arce Vizcarra.
- © Gianni Michael Zelada García
- © Gary Hitler Muñoz Bravo
- © Luis Carlos Benavente Villena
- © Luiggi Cruz Caldas
- © Óscar Rafael Tinoco Gómez
- © Pablo César Gutiérrez Falcón
- © Rosa Karol Moore Torres
- © Santiago Estrada Nuñez

### Editor:

- © Óscar Rafael Tinoco Gómez  
Calle El Abutillon 3881 - Los Olivos  
otinocog@gmail.com

### Diseño y maquetación

Lic. Stefanny Ibarra Castillo

Primera edición, Enero 2021

Tiraje: 500 ejemplares

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca  
Nacional del Perú N.º 2021-00752

ISBN: 978-612-00-5921-0

Se terminó de imprimir en Enero del 2021 en:

Imprenta & Moda E.I.R.L.  
RUC: 20545387663  
Jr. Bolognesi 729, stand 19  
Magdalena del Mar, LIMA 17

Derechos reservados. Prohibida la reproducción  
total o parcial de esta obra sin autorización  
previa y por escrito de los titulares de Copyright.

# Prólogo

---

Los profesionales y académicos de hoy, estamos en una situación favorable para producir.

La producción en nuestra formación profesional, de pre y pos grado, en informes y monografías, eran nuestras obligaciones académicas. Informes de laboratorio o nuestras visitas pre profesionales. En algunas circunstancias, el escribir significaba un trabajo “extra”, e inclusive no se consideraba importante para aprender nuevos conocimientos. Se resaltaba la práctica, el trabajo de campo.

Hoy se está cambiando la idea de producir en el ejercicio profesional. La importancia del trabajo práctico, de la técnica del “ensayo y error”, sigue siendo necesario y muy válido. Ahora hemos de agregar nuevos productos de nuestro trabajo profesional. El trabajo académico, lo que significa producir nuestros trabajos de campo: redactar artículos científicos y publicarlos.

Los artículos científicos son producto de nuestra propia experiencia, profundizada por los análisis y síntesis de otras experiencias – al compartir trabajos con

otros colegas y de las lecturas de experiencias locales e internacionales, sean de nuestra propia especialidad o de afines -, y debe producirse cada oportunidad que desarrollemos un trabajo innovador. Nuestra experiencia debe darse a conocer, desde los mínimos detalles hasta los grandes descubrimientos. Todo es importante informarlo y publicarlo.

La publicación de un libro, puede trabajarse de dos maneras: de manera individual o colectivamente. Esta entrega es producto de una sumatoria de trabajos afines que complementan un tema en común, varios autores, desde una perspectiva multidisciplinaria. En esta oportunidad se abordan las competencias ambientales que constituyen un reto para los ingenieros industriales y la ingeniería, en general.

De esa manera, el producto integra conocimientos y experiencias que se enriquecen mutuamente. El resultado para los lectores, también ha de ser enriquecedor.

Dr. Francisco Wong Cabanillas  
Docente Doctorado UPG FII  
UNMSM

# Contenido

---

---

**PERFIL Y COMPETENCIAS DEL INGENIERO INDUSTRIAL EN EL PERÚ  
Y SU PARTICIPACIÓN EN LAS INVESTIGACIONES RELACIONADAS  
A LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS - COMPARATIVO CON SUS  
PARES: ECUADOR, COLOMBIA Y VENEZUELA**

Gianni Michael Zelada García,  
Gary Hitler Muñoz Bravo y  
Fernando Guillermo Arce Vizcarra.

09



**EL IMPACTO AMBIENTAL DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA  
EN LA INDUSTRIA**

Pablo César Gutiérrez Falcón  
Luis Carlos Benavente Villena

51



**SOLUCIONES PARA MITIGAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES  
DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIONES**

Luiggi Cruz Caldas

93



**EFFECTOS AMBIENTALES EN LA CALIDAD  
DEL AIRE PRODUCTO DE LA PANDEMIA COVID - 19  
EN LA CIUDAD DE LIMA - PERÚ**

Edwin Turín Sedano  
Santiago Estrada Nuñez

121



**LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA INDUSTRIA TEXTIL**

Dr. Oscar Rafael Tinoco Gómez  
Dra. Rosa Karol Moore Torres

143





# PERFIL Y COMPETENCIAS DEL INGENIERO INDUSTRIAL EN EL PERÚ Y SU PARTICIPACIÓN EN LAS INVESTIGACIONES RELACIONADAS A LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS - COMPARATIVO CON SUS PARES: ECUADOR, COLOMBIA Y VENEZUELA

Gianni Michael Zelada García <sup>a</sup>  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Gary Hitler Muñoz Bravo <sup>b</sup>  
Universidad Técnica de Machala

Fernando Guillermo Arce Vizcarra <sup>c</sup>  
Universidad Nacional del Callao

---

## RESUMEN

A partir de la pregunta: ¿Los programas de pregrado de la carrera de ingeniería industrial ofrecen a sus estudiantes las competencias específicas para dirigir la gestión de residuos sólidos en las industrias que los emplearán?, los autores desarrollaron un análisis sistemático con base a la información extraída de diferentes organismos vinculados a la ingeniería del Perú y la región, así como de repositorios de tesis de pregrado. Finalmente, se concluye que existe un perfil básico y común del ingeniero industrial. Sin embargo, las competencias específicas vinculadas a la gestión de residuos sólidos solo son desarrolladas por universidades que han seguido procesos de acreditación. Los ingenieros industriales muestran competencias para: evaluación crítica de los procesos productivos; implementación de sistemas de gestión ambiental; dominio de normativas legales; uso de indicadores ambientales; aplicación del ciclo generación-disposición final; uso de técnicas de aprovechamiento por biodigestores, tecnologías limpias, las 4 Rs, y la técnica Takakura. Todas estas competencias adquiridas no provienen necesariamente desde de las aulas.

**Palabras clave:** gestión de residuos sólidos, perfil, competencias, ingeniero industrial.

## ABSTRACT

Starting with the question: Do the undergraduate programs of the industrial engineering career offer their students the specific competencies to lead the solid waste's managements in the industries that will employ them?, the authors developed a systematic analysis based on the information extracted from different organizations linked to engineering in Peru and the region, as well as repositories of undergraduate thesis. Finally, it is concluded that there is a basic and common profile of the industrial engineer. However, the specific competencies related to solid waste management are only developed by universities that have followed accreditation processes. Industrial engineers show competencies for: critical evaluation of production processes; implementation of environmental management systems; mastery of legal regulations; use of environmental indicators; application of the generation-final disposal cycle; use of biodigester utilization techniques, clean technologies, the 4 Rs, and the Takakura technique. All these acquired skills do not necessarily come from the classroom.

**Keywords:** solid waste management, profile, skills, industrial engineer

<sup>a</sup> Magister en Administración de Empresa – [gianni.zelada@unmsm.edu.pe](mailto:gianni.zelada@unmsm.edu.pe) / [mzelada@usil.edu.pe](mailto:mzelada@usil.edu.pe)

<sup>b</sup> Magister en Seguridad, Higiene Industrial y Salud Ocupacional – [gmunoz@utmachala.edu.ec](mailto:gmunoz@utmachala.edu.ec)

<sup>c</sup> Magister en Administración y Dirección de Empresas – [farce2010@gmail.com](mailto:farce2010@gmail.com)



## 1. INTRODUCCIÓN

Los ingenieros industriales son parte fundamental del problema y de la solución a los diferentes desafíos ambientales dados como consecuencia de los diversos procesos productivos, puesto que dentro de sus competencias tienen la optimización de los recursos para generar una mayor producción de bienes y servicios a menores costos (Saez & Urdaneta, 2014).

Para Saez, A., Urdaneta, J. (2014), los ingenieros industriales han abordado el tema de contaminación ambiental por residuos sólidos tomando en consideración diferentes aspectos: normativa legal y el tipo de proceso productivo. El crecimiento poblacional, la aglomeración de la población y el ineficiente desarrollo de los sectores productivos son factores que inciden grandemente en la generación de residuos sólidos, lo cual representa un desafío para las grandes ciudades. Los residuos sólidos urbanos, incluyen dentro de ellos a los residuos domésticos, comerciales y de algunas fuentes industriales y son generalmente manejados por ingenieros industriales dividiendo el proceso en diferentes etapas: separación en la fuente, almacenamiento temporal, tratamiento y disposición final; donde la etapa de tratamiento de los residuos sólidos es crucial y depende de la composición del residuo y el impacto medioambiental adicional que puede provocar el tratamiento. Además, los resultados de la implementación dependen del nivel de concientización ambiental que posean los trabajadores.

La presente investigación partió de la necesidad de reconocer la importancia del ingeniero industrial en la gestión de los residuos sólidos y la conexión que debe tener el plan de estudios, el perfil de formación y las competencias y capacidades que adquiere para que pueda responder a esta demanda mundial; por ello se propone desarrollar una investigación tipo revisión documental que aborde las tres preguntas de investigación propuestas.

En la investigación se analizan cinco organismos vinculantes a la experiencia profesional universitaria

y nueve universidades del Perú que cumplen con los criterios de inclusión del estudio para conocer acerca del perfil y las competencias del Ingeniero industrial. En esta parte se logra concluir que el perfil común del ingeniero industrial es el que desarrolla competencias para diseñar, gestionar y optimizar sistemas productivos de servicios y/o cadenas productivas y de suministros, de ahí su responsabilidad por incluir en cada una de sus actividades las soluciones ambientales necesarias. Otras competencias que le ofrecen la posibilidad de enfrentar contextos ambientales, es el desarrollar soluciones y proyectos de ingeniería en las diversas industrias como el papel, plástico, textil, industria de los metales y sobre todo las extractivas. Curiosamente las regiones que concentran a la mayoría de estas industrias presentan reducida o nula oferta académica de la mencionada carrera. El estudio también profundiza respecto al plan de estudio y la sumilla, encontrando que cinco universidades de las tomadas en la muestra, no desarrollan cursos obligatorios en su plan de estudios relacionados a gestión de residuos, y las que sí lo hacen, coincidentemente han desarrollado procesos de acreditación nacional y/o internacional.

En la segunda parte se establecen los métodos, herramientas y/o técnicas llevadas a cabo por ingenieros industriales para la resolución de problemas medioambientales referentes a la gestión de residuos sólidos a nivel Perú; para ello se consideran los diferentes sectores productivos, así como las competencias desarrolladas por los ingenieros industriales al momento de abordar la investigación.

Asimismo, fueron analizadas diez tesis de pregrado relacionadas al manejo de residuos sólidos, las cuales fueron llevadas a cabo por ingenieros industriales en algunos países de América del Sur. En el caso de Ecuador, se emplearon como técnicas de investigación la observación exploratoria y de campo, así como la entrevista, con el propósito de esclarecer la fuente de dónde surge el problema, para luego implementar un plan de manejo ambiental basado en el ciclo de generación, segregación en la fuente, almacenamiento, traslado, tratamiento y

disposición final; tomando en consideración la composición y el potencial que aún posee el residuo, así como la mejora constante del proceso de implementación. Otro método empleado fue el aprovechamiento de residuos para la producción de biogás, así como la reutilización de residuos plásticos en la elaboración de adoquines, masillas y piezas artesanales. Por otro lado, el desarrollo de programas de concientización ambiental y la promoción de una cultura medioambiental en los trabajadores, fue crucial para la resolución de los problemas medioambientales. Por su parte, investigaciones realizadas en universidades de Venezuela establecieron, al igual que Ecuador, que el ciclo generación-disposición final constituye un buen método de manejo de residuos sólidos, no dejando de lado el reciclaje y demás alternativas amigables con el medio ambiente. Entretanto, investigaciones realizadas en Colombia destacan la importancia del buen manejo de la cadena de suministros para mejorar la productividad a través de la reducción de desperdicios generados durante el proceso. Finalmente, los resultados obtenidos en España, debido al direccionamiento de la carrera de ingeniería industrial en ese sector, así como la presencia de diversidad de carreras relacionadas al cuidado del medioambiente, no hay gran participación del ingeniero industrial en la resolución de problemas medioambientales originados por el inadecuado manejo de residuos sólidos que estén documentados en los trabajos de investigación.

## **2. METODOLOGÍA**

La revisión documental para atender una pregunta de investigación hace uso de la recopilación y resumen de toda la evidencia empírica que se ajusta a criterios de inclusión establecidos. ([www.ccace.ed.ac.uk](http://www.ccace.ed.ac.uk))

La muestra de las universidades peruanas consideradas para este estudio responde al muestreo por conveniencia, bajo criterios de excelencia académica. Se tomó como base la clasificación de América Económica; también se consideró como prioridad la gestión estatal y su

ubicación, buscando tener referentes en el norte, sur, centro y oriente del país. Se consideraron universidades licenciadas por SUNEDU que ofrecen la especialidad de ingeniería industrial. Un último criterio fue que las tesis de pregrado en la carrera profesional de ingeniería industrial contuvieran el tema “manejo, gestión, tratamiento y/o disposición de residuos sólidos” (registrados en el portal renati.edu.pe para el Perú).

**Tabla N.º 1.** Espacios universitarios donde se ofrece la carrera profesional de Ingeniería Industrial en Perú

Total espacios que ofrecen la carrera profesional	Se ofrecen en Lima 17	De Gestión Pública 4	Ubicadas en Ranking top ten <sup>1</sup> 2	
		De Gestión Privada 13	Ubicadas en Ranking top ten 6 <sup>2</sup>	
44	Se ofrecen en Provincia 27	De Gestión Pública 1	Ubicadas en la Sierra 1	Ubicadas en la Selva 0
		De Gestión Privada 26	Ubicadas en Ranking top ten <sup>3</sup> 0	

**Nota 1:** Ranking [https://www.webometrics.info/es/latin\\_america\\_es/per%C3%BA](https://www.webometrics.info/es/latin_america_es/per%C3%BA). **Nota 2:** UNALM y UCH no ofrecen la carrera profesional de Ingeniería Industrial. **Nota 3:** Solo se ha totalizado las universidades de gestión públicas. **Fuente:** <https://www.ponteencarrera.pe>

Otros referentes importantes a considerar para la definición del perfil en el Perú y las competencias en este estudio son: i) el colegio de ingenieros del Perú - CIP; ii) el sistema nacional de evaluación, acreditación y certificación de la calidad educativa en el Perú - SINEACE; iii) el instituto de calidad y acreditación de programas de computación, ingeniería y tecnología en ingeniería - ICACIT; iv) la agencia acreditadora de carreras de ingeniería más importante en el mundo - Accreditation Board for Engineering and Technology - ABET.

Para la búsqueda de los trabajos de investigación de los países de la región, se utilizaron los criterios de inclusión y exclusión descritos líneas arriba; asimismo se dio prioridad a las universidades mejor ubicadas con base a las categorizaciones establecidas por los organismos que fiscalizan la calidad de la educación universitaria en cada país analizado, como por ejemplo: i) CONACES en Colombia; ii) CONEA en Ecuador; iii) CNED en Chile; y iv) ANECA en España. ([www.sunedu.edu.pe](http://www.sunedu.edu.pe) )

Las exigencias ambientales son diversas y complejas en razón a los impactos y a los procesos productivos involucrados; sin embargo, uno de los requerimientos vigentes en casi todas las industrias, e incluso servicios, es la gestión de residuos sólidos.

Según el portal [statista.com](http://statista.com), 359 millones de toneladas de plástico y 420 millones de toneladas de papel se procesan anualmente en el mundo, y son, junto a la industria textil, las mayores productoras de residuos sólidos. Por ejemplo, en el plano urbano, según el [minam.gob.pe](http://minam.gob.pe) en el 2013 se procesaban 18.5 toneladas de residuos sólidos por día y este volumen en su mayoría lo constituyen papeles, plásticos y telas. Lo preocupante es que todos estos números no han hecho más que crecer anualmente impulsados por el aumento de la población, mejoras tecnológicas, aumento de la capacidad adquisitiva y obviamente el desinterés de las personas e industrias generadoras; si a estos números consideramos los residuos de la industria minera, siderúrgica y de la transformación de metales, el número es de muchos millones de toneladas más. ([www.minam.gob.pe](http://www.minam.gob.pe) )

La preocupación por el impacto ambiental no debe ser ajena a ningún profesional, y menos a los ingenieros industriales quienes, para el colegio de ingenieros, son los responsables en teoría de diseñar y optimizar las operaciones ([www.cip.org.pe](http://www.cip.org.pe)); los organismos acreditadores también lo remarcan y las universidades deberían alinearse a esa expectativa. Por su parte, los organismos gubernamentales son los llamados a establecer las reglas de juego; por ejemplo, mediante el Decreto Ley #1278 “Nueva ley de reglamento

de residuos sólidos”, el ministerio de ambiente marcó los 3 ejes de cambio que se traducen en: i) el residuo ya no es basura sino un insumo para otra industria; ii) establecer bases para desarrollar una gran industria de reciclaje; iii) vincular a todos los actores.

Por lo expuesto, se identificaron los siguientes problemas de investigación:

Pregunta de Investigación 1: ¿Cuáles son los perfiles que las universidades peruanas licenciadas, contemplan en la formación del Ingeniero Industrial?. ¿Dentro de las competencias, campo de aplicación y/o plan de estudio que se exponen se hace referencia a los campos de estudio de la gestión ambiental, contaminación y/o del gestión de residuos sólidos?.

Pregunta de Investigación 2: ¿Cómo y con qué herramientas o técnicas están abordando los ingenieros industriales las investigaciones relacionadas al tratamiento de residuos sólidos en Perú?

Pregunta de Investigación 3: ¿Cómo y con qué herramientas o técnicas están abordando los ingenieros industriales las investigaciones relacionadas al tratamiento de residuos sólidos en la región américa del Sur y España?, ¿Existen diferencias entre las herramientas y/o técnicas que viene utilizando los profesionales en ingeniería industrial en los países de la región respecto a las competencias encontradas en los profesionales de ingeniería industrial del Perú?

### **3. DESARROLLO**

#### **3.1. Pregunta de Investigación 1**

¿Cuáles son los perfiles que las universidades peruanas licenciadas, contemplan dentro del Ingeniero Industrial? ¿Dentro de las competencias, campo de aplicación y/o plan de estudio que se exponen se hace referencia a los campos de estudio de la gestión ambiental, contaminación y/o del tratamiento de residuos sólidos?.

Según el portal [ponteencarrera.pe](http://ponteencarrera.pe) existen 44 espacios académicos en el Perú que ofrecen la carrera profesional universitaria de Ingeniería Industrial. 17 se ofrecen en Lima, 4 apenas son de gestión estatal, solo 2 de ellas se encuentran dentro de las 10 mejores del ranking América Económica. 27 se ofrecen en provincia, apenas 6 son de gestión pública, solo una está ubicada en el centro del país, ninguna en la parte oriental (<https://www.ponteencarrera.pe>).

Para el colegio de ingenieros del Perú, órgano que representa la profesión de ingeniería del Perú, el perfil profesional<sup>1</sup> del ingeniero industrial desarrolla competencia para: “Lograr la eficiencia y rendimiento operacional en los sistemas productivos y evaluar su desempeño en la interrelación de trabajadores, equipos y materia prima. Por ello se desenvuelve en actividades como: diseño, operatividad y supervisión de los procesos, métodos proyectos de inversión, finanzas, investigación operativa, diseño de productos, confiabilidad y reemplazo de equipos, gestión de calidad y aplicación ergonómicas” ([www.cdiima.org.pe](http://www.cdiima.org.pe)).

ICACIT, la agencia acreditadora latinoamericana especializada en programas de formación profesional de ingeniería, describe dentro del criterio 3, a modo de resultados las trece competencias que se espera de un estudiante de ingeniería: i) conocimientos en ingeniería; ii) investigación; iii) diseño y desarrollo de soluciones, entre ellas las relacionadas a aspectos ambientales; iv) trabajo individual y equipo; v) análisis de problemas; vi) ética; vii) comunicación; viii) aprendizaje permanente; ix) ingeniería y sociedad; x) uso de herramientas modernas; xi) gestión de proyectos; y específicamente xii) medioambiente y sostenibilidad, este último ofrece la capacidad de comprender y evaluar el impacto de las soluciones a problemas complejos de ingeniería en un contexto global, económico, ambiental y social.

---

<sup>1</sup> <http://industrial.cdiima.org.pe/ingeniero-industrial/>

Mientras ABET, organización mundial dedicada a la acreditación de programas de educación universitaria, expone que dentro de su modelo se establece que el programa debe incluir contenido curricular en las siguientes áreas: a) materiales y procesos de fabricación; b) ingeniería de procesos, ensamblaje y productos; c) competitividad manufacturera; d) diseño de sistemas de fabricación; e) experiencia en instalaciones o laboratorios de fabricación ([www.abet.org](http://www.abet.org)).

### **3.1.1. Perfil de Egresado del Ingeniero Industrial en universidades de Perú**

Perú cuenta con 96 universidades que han superado el proceso de licenciamiento institucional que se inició a partir del año 2015, tras el pronunciamiento de la nueva ley universitaria 30220, otras 47 universidades no han logrado pasar el proceso. La adherencia e incluso la superación de los requisitos que se exigen en este modelo de licenciamiento van en relación directa con su presencia en los diversos rankings, como el de América Económica y el de Webometrics. Este ranking contempla aspectos como: la plana docente, infraestructura, investigación, acreditación, inclusión, convenios y otros. De este ranking extrajimos 9 universidades, entre nacionales, privadas, de provincia y evidentemente capitalinas.

### **3.1.2. Perfil del Ingeniero Industrial en la Pontificia Universidad Católica de Perú (PUCP)**

La PUCP ubicada en Lima, considerada N°1 en el ranking webometrics (y de América Económica), define el perfil del ingeniero industrial como el que se ocupa del diseño, implementación, gestión, optimización y dirección de sistemas de producción de bienes y servicios. El campo laboral que proyectan para este perfil es de amplio espectro y abarca las áreas funcionales de producción, logística, finanzas, mercadotecnia, sistemas, administración, recursos humanos, seguridad, sistemas integrados de gestión y emprendimiento personal, e incluye a la gestión



ambiental. Para este último campo, el plan de estudios de la carrera ubica un curso obligatorio de “gestión ambiental”. La sumilla del curso incluye conceptos y herramientas como: desarrollo sostenible; instrumentos de gestión ambiental; fundamentos de sistemas de gestión ambiental y ecodiseño. (<https://www.pucp.edu.pe/carrera/ingenieria-industrial/>)

### **3.1.3. Perfil del Ingeniero Industrial en Universidad San Marcos (UNMSM)**

La UNMSM ubicada en Lima, ubicada en el 2do lugar del ranking, propone dentro de su perfil diversas competencias, algunas de ellas asociadas a los aspectos ambientales como: i) desarrolla, dirige, analiza y mejora las operaciones, procesos productivos y cadenas de suministro considerando respeto al medio ambiente y ii) Elabora y evalúa proyectos de inversión para el desarrollo social e industrial sostenibles. El campo laboral que proyecta para el profesional en ingeniería industrial, al igual que PUCP, es amplio y aun cuando formalmente no incluye el área de gestión ambiental, sí deja un espacio para las empresas de asesoría y consultoría, que al final engloban servicios de control ambiental. El plan de estudio, en esa área temática incluye el curso obligatorio de “evaluación de impacto ambiental” cuya sumilla lo presenta como marco de juicio para la gestión de proyectos donde se evalúan aspectos legales ambientales e institucionales. Otro curso obligatorio es el de “ingeniería ambiental” y la sumilla lo presenta como instrumento para el conocimiento y revisión de las exigencias legales ambientales y técnicas para su control y/o reducción, que servirán posteriormente para los estudios de impacto ambiental necesarios. (<http://www.unmsm.edu.pe/> )

### **3.1.4. Perfil del Ingeniero Industrial en Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)**

UPC ubicada en Lima, 3er puesto en el ranking, propone como perfil profesional aquel capaz de mejorar los procesos en las organizaciones, y consecuentemente

aumentar la productividad y calidad. El campo laboral incluye casi todas las áreas de una empresa: operaciones, logística, finanzas, ventas, marketing, recursos humanos, y empresas consultoras de ingeniería y proyectos. Aún cuando esta última deja espacio para participar de las áreas de gestión ambiental, el plan de estudio de esta casa de estudio no incluye cursos obligatorios sobre este campo de estudio (<https://pregrado.upc.edu.pe/facultad-de-ingenieria/ingenieria-industrial/>).

### **3.1.5. Perfil del Ingeniero Industrial en Universidad de Lima (ULIMA)**

La Universidad de Lima ubicada en la capital del país ocupa el 5to puesto en el ranking. El perfil que presenta tiene competencias para diseñar, implementar, dirigir y mejorar procesos productivos, de bienes y servicios. El campo laboral que proyecta para el profesional en ingeniería industrial, es amplio y coincide con todas las anteriores universidades mencionadas, puede decirse que esta es una fortaleza de la carrera: su espectro laboral. Sin embargo, este no incluye el área de gestión ambiental, pero deja un espacio para las empresas de asesoría y consultoría, que como sabemos se interesan por servicios de control ambiental. El plan de estudio incluye un curso obligatorio con nombre: "gestión ambiental". No se encuentra más información sobre la sumilla de este curso (<https://www.ulima.edu.pe/pregrado/ingenieria-industrial>).

### **3.1.6. Perfil del Ingeniero Industrial en Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)**

La UNI ubicada en Lima ocupa 7mo puesto en el ranking. Su perfil abarca a un profesional con foco en la optimización del uso de los recursos productivos y empresariales mediante la dirección del cambio con creatividad e innovación permanente. Su plan de estudio no incluye cursos relacionados a gestión ambiental (<https://www.uni.edu.pe/index.php/facultades/ingenieria-industrial-y-de-sistemas/ingenieria-industrial>).

### **3.1.7. Perfil del Ingeniero Industrial en Universidad de Piura (UDEP)**

La UDEP con sedes en Lima y Piura es la primera universidad fuera de Lima que se asoma al ranking en un respetuoso puesto 12 del ranking. Su propuesta de carrera “ingeniería industrial y de sistemas” presenta un perfil profesional capaz de diseñar, gestionar, ejecutar y optimizar operaciones de manufactura, servicios y proyectos, con un campo laboral en áreas como: la gerencia de proyectos, gestión de producción y operaciones, desarrollo e implementación de software y gestión logística. Su plan de estudios no incluye cursos en el campo de la gestión ambiental, ausencia que coincide con su omisión en el campo laboral (<http://udep.edu.pe/admision/piura/ingenieria-industrial-y-de-sistemas/>).

### **3.1.8. Perfil del Ingeniero Industrial en Universidad San Agustín de Arequipa (UNSA)**

La UNSAAC es la segunda universidad de provincia que aparece en el ranking (15va) que ofrece la experiencia profesional de ingeniería industrial, pero la primera que representa al sur del país (Arequipa), y la primera de administración estatal. El perfil profesional que expone es aquél que desarrolla actividades de, análisis, diseño, implementación, y optimización de los sistemas productivos y de servicios. Los campos de desarrollo laboral que se esperan para esta profesión son: cadena de suministros, planeamiento, programación y control de la producción, gestión de proyectos y sistemas. El plan de estudio no considera cursos obligatorios sobre aspectos ambientales (<http://fips.unsa.edu.pe/ingenieriaindustrial/>).

### **3.1.9. Perfil del Ingeniero Industrial en Universidad Nacional de Trujillo (UNT)**

La UNT es la tercera universidad de provincia que aparece en el ranking (16va) que ofrece la experiencia profesional de ingeniería industrial, pero la primera que representa al norte del país (Trujillo), y la segunda de administración

estatal. El perfil profesional esperado: diseña proyectos, bienes y servicios; y gestiona y optimiza los sistemas de transformación de los sectores productivos del país. El plan de estudio no considera cursos obligatorios sobre aspectos ambientales (<http://facing.unitru.edu.pe/index.php/especialidades/industrial/perfil-del-egresado>).

### **3.1.10. Perfil del Ingeniero Industrial en Universidad Hermilio Valdizán (UNHEVAL)**

La UNHEVAL ubicada en Huánuco es la única universidad ubicada en la sierra peruana que ofrece la carrera profesional universitaria de Ingeniería Industrial y Sistemas. Esta universidad de gestión estatal está ubicada en el puesto 43 del ranking. No se logró acceder ni al perfil ni al plan de estudios por la web (<https://www.unheval.edu.pe/fiis/>).

## **3.2. Pregunta de Investigación 2**

¿Cómo y con qué herramientas o técnicas están abordando los ingenieros industriales las investigaciones relacionadas al tratamiento de residuos sólidos en Perú?

Para responder a la primera parte de la pregunta de investigación el ¿Cómo los ingenieros industriales están abordando las investigaciones relacionadas al tratamiento de residuos sólidos en Perú? Haremos el siguiente análisis:

De acuerdo a la formación profesional del ingeniero industrial en Perú y las competencias adquiridas y su relación con los residuos sólidos se revisaron tesis de pregrado de los repositorios de las principales universidades como parte de los criterios de inclusión, asimismo se consideran las universidades con las carreras de ingeniería industrial más rankeadas a nivel nacional, así como los ingenieros en sus trabajos de investigación abordaban la variable residuos sólidos.

Para poder comprender mejor acerca de las competencias profesionales adquiridas por los profesionales de ingeniería industrial se revisaron trabajos de investigación

asociados exclusivamente por tesis de pregrado para obtener el título de ingeniero industrial, vemos de esta forma que se excluyen tesis de postgrado considerando que las maestrías y doctorados de ingeniería industrial no necesariamente estarían elaboradas por ingenieros industriales.

Para responder a la segunda parte de la pregunta de investigación ¿Con qué herramientas o técnicas están abordando los ingenieros industriales el tratamiento de residuos sólidos?

Se revisaron trabajos de investigación de pregrado de cada universidad elegida.

### **3.2.1. Pontificia Universidad Católica de Perú (PUCP)**

En la PUCP fue difícil encontrar tesis asociadas a los residuos sólidos desde el enfoque del ingeniero industrial, esto debido a que existe la carrera de ingeniería ambiental. Sin embargo, en el repositorio de tesis de la PUCP se encontraron las siguientes tesis:

#### **Propuesta de un sistema de gestión ambiental para una lavandería industrial bajo la norma ISO 14001:2015**

El objetivo fue desarrollar una propuesta de un SGA para una lavandería industrial en base a la norma ISO14001:2015. Los servicios ofrecidos asociados con su problemática fueron: lavado para prendas de vestir tanto de tela denim y drill; donde los efluentes, las emisiones gaseosas y los residuos sólidos generados por el empleo de recursos como agua, electricidad, combustibles fósiles, insumos químicos, etc. generan daño al medio ambiente (Montoya, 2019)

<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15571>

## **Aplicación de eco indicadores como herramienta para el diseño de un sistema de gestión ambiental en una empresa metalmecánica**

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo desarrollar una propuesta de diseño de un sistema de gestión ambiental, fundamentada en indicadores ambientales, para una empresa metalmecánica que no posee la certificación ISO 14001:2015. Cabe enfatizar que la conciencia ambiental en el sector metalmecánico no es una fortaleza y lo que se pretende resolver es reducir los impactos negativos al medio ambiente (Llallahui, 2016)

<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7510>

## **Diseño de un sistema de gestión ambiental basado en la norma ISO 14001:2004 para una empresa que fabrica aparejos para pesca.**

El trabajo de estudio en mención hace uso de la metodología de la mejora continua en los procesos de una empresa textil mediante el diseño de un SGA basado en la norma ISO 14001:2004. Se busca dar solución a los residuos sólidos que se generan en su mayoría por hilazas y restos de redes, cabos, cordeles, orillos, algunos tucos (conos de cartón). Todos estos agentes contaminantes sólidos llegan a generarse en los procesos de trenzado, retorcido, embobinado, tejido, urdido y finalmente acabado (Rodríguez, 2016)

<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1720>

### **3. 2. 2. Universidad San Marcos (UNMSM)**

#### **Producción de abono orgánico a partir de residuos sólidos urbanos en Lima Metropolitana**

El presente estudio trata de la evaluación socio económico y técnica de residuos sólidos de Lima Metropolitana, donde se analiza la producción per cápita de los diferentes estratos

sociales, para determinar la cantidad y calidad de los residuos orgánicos para la producción de abonos orgánicos mediante la técnica de los biodigestores que servirá para bajar los costos en los mantenimientos de los parques y jardines y posteriormente esta metodología ampliará sus fronteras en el sector agricultura (Cuadrado,2015) <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/13952>

### **Estudio de prefactibilidad para la ampliación y mejoramiento de la planta de tratamiento térmico en una empresa de gestión de residuos industriales**

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo ampliar y mejorar la capacidad de tratamiento térmico mediante la implementación de una nueva línea operativa con recuperación energética para reducir costos operativos en una empresa de gestión de residuos industriales. (Angulo, 2017)

[https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/6052/Angulo\\_re.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/6052/Angulo_re.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

### **3.2.3. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)**

#### **Propuesta de mejora sostenible en el proceso de segregación de residuos sólidos no peligrosos comercializables generados por el área de envasado de una empresa productora de bebidas alcohólicas**

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo incrementar la cantidad de residuos comercializables no peligrosos generados por el área de Envasado de una empresa productora de bebidas alcohólicas. Para ello, se analizó la situación actual del proceso de segregación de residuos sólidos no peligrosos comercializables generados por esta área, la cual es la que genera mayor cantidad de residuos sólidos comercializables en la Planta de Producción. La propuesta de mejora sostenible (incrementar beneficios económicos, ambientales y

sociales) permite demostrar las brechas existentes entre el proceso actual y el propuesto (Cantidades perdidas de residuos comercializables debido a una segregación incorrecta). La empresa estudiada tiene la certificación del GRI (Global Reportive Initiative), la cual la califica como empresa socialmente responsable.

### **3. 2. 4. Universidad de Lima (ULIMA)**

#### **Estudio de prefactibilidad para la fabricación de abono a base de residuos sólidos orgánicos**

En el siguiente trabajo de investigación se plantea la producción de abono a base de residuos sólidos empleando la técnica Takakura la cual permite la producción de abono a base de residuos sólidos orgánicos a muy bajo precio, de forma efectiva y sin emisión de olores; para así reducir la acumulación de dichos residuos, disminuir la contaminación y mejorar la calidad de vida de la sociedad.

### **3. 2. 5. Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)**

#### **Gestión de residuos sólidos generados por una industria de calzado - evaluación y propuesta para la implementación de un sistema de manejo de residuos sólidos**

El presente informe nos muestra como es el manejo de los residuos sólidos en la Industria del calzado “Cooperante”, haciendo una evaluación en cada etapa y proponiendo las mejoras respectivas basándose en la legislación nacional, tomando ejemplos de otras empresas que aplican un adecuado manejo de sus residuos y proponiendo soluciones de acuerdo con el conocimiento, criterio y experiencia en el manejo de residuos sólidos. De esta manera el presente informe propone un sistema de manejo de residuos sólidos en una industria de calzado y brinda una herramienta para que otras empresas realicen un adecuado manejo de sus residuos. Se detallan los procedimientos de producción de calzado y las etapas en el manejo de residuos sólidos, identificando los puntos buenos y malos y de esta forma optar por la propuesta más adecuada para el manejo de residuos sólidos de la Industria de calzado “Cooperante”.



En el proceso de fabricación de calzado se utiliza mucho como materia prima el cuero. Los procesos de fabricación de cuero (curtiembre) ocasionan grandes problemas de contaminación, los impactos ambientales son tan considerables como los de las industrias mineras y de petróleo, esto nos ha hecho tomar conciencia del daño que se está generando en el ambiente. Es por esto que el presente informe incluye acciones para la reducción de generación de residuos sólidos en la fuente en una fábrica de cuero (curtiembre), mediante uso de tecnologías limpias y las ventajas del tratamiento de aguas residuales mediante ozonización.

### **3. 2. 6. Universidad de Piura (UDEP)**

#### **Plan de minimización y manejo de residuos sólidos para una planta cementera en Piura**

El presente trabajo de investigación se basa en los principios de las 4Rs ambientales (reducir, reutilizar, reciclar y revalorar) y busca estandarizar los procesos de manejo de residuos a lo largo de la planta, estableciendo los pasos e indicaciones que se deben tener en cuenta para garantizar una adecuada gestión de los residuos generados en las diferentes áreas de la empresa. El plan incluye propuestas, actividades, capacitaciones y mejoras en las distintas áreas de la planta con el fin de lograr una óptima gestión del manejo interno de estos residuos sólidos que involucra: implementar una correcta ubicación de los puntos de acopio, como almacenamientos temporales, manejo de residuos bajo el enfoque de las 4R's ambientales, mejorar la infraestructura del almacén central; incluye también un programa capacitación y un plan de contingencia y seguridad para el manejo de residuos peligrosos.

#### **Diseño del sistema de gestión de los residuos sólidos para la UDEP-Campus Piura**

El presente proyecto es un complemento a la cultura campus verde a través de un sistema integrado de gestión de residuos sólidos con el cual se pretende incentivar la correcta segregación en fuente, el mejor aprovechamiento

de los recursos de segregación y la segregación detallada de los residuos generados en la UDEP.

Las propuestas que este proyecto se plantea son: una estrategia de concientización, mejoras en el diseño y ubicación de los packs, el diseño de un ambiente de segregación y manuales de procedimientos que ayudarán a mejorar la gestión de Residuos Sólidos.

### **3.2.7. Universidad San Agustín de Arequipa (UNSA)**

**Propuesta e implementación de un plan de manejo ambiental, basado en la norma ISO 14001, para una Empresa de construcción de obras civiles: proyecto de carreteras, para la optimización de recursos.**

Establecer al Plan de Manejo Ambiental como un Sistema Estratégico de técnicas y herramientas útiles aplicadas en un proceso ordenado y sistemático para la gestión de Proyectos u Obras (Proyectos de Carreteras), con el objetivo final de asegurar los criterios de valor antes mencionados, tanto del Cliente como de la Organización.

La propuesta de investigación planteada pretende que la información recabada y analizada, sirva a futuro y se reutilice si fuere aplicable; de tal manera que brinde soporte al Sistema de Manejo Ambiental en el análisis, seguimiento y monitoreo, basado en un sistema colaborativo y analizado.

**Análisis y reducción de costos de producción en una planta de fabricación de harina de pescado optimizando la implementación y estructuración de un sistema de recuperación de tratamiento de residuos sólidos y líquidos.**

Es por ello por lo que la presente investigación desarrolla una propuesta para reducir los costos de producción implementando un sistema de recuperación de residuos sólidos y líquidos, se toma como caso de estudio a Pesquera Diamante Mollendo. Se tomó en cuenta para su desarrollo la parte metodológica que describe el problema y nombra los objetivos de la investigación, de tal manera que se plantea una solución teniendo como base al marco teórico.

A través de la Matriz FODA, diagramas de flujo, diagramas de Ishikawa, análisis de costos, se logró obtener información de la situación actual del proceso productivo de la planta pesquera.

Lo cual conlleva a la necesidad de desarrollar un sistema de recuperación de residuos sólidos y líquidos basados en implementar tratamientos que reestructuren y mejoren el proceso productivo, y que al mismo tiempo demuestra con un balance de materia prima la reducción de los costos de producción.

### **Diseño de un sistema de gestión ambiental, basado en la norma ISO 14000, para una granja de postura**

La presente tesis desarrolla el proceso a seguir para el Diseño de un Sistema de Gestión Ambiental según la norma ISO 14001:2015. Las cláusulas de la norma y los requisitos que cada una de ellas contiene han sido evaluados y desarrollados.

### **3.2.8. Universidad Nacional de Trujillo (UNT)**

#### **Estudio de prefactibilidad para determinar la viabilidad de la instalación de una planta de tratamiento de residuos sólidos peligrosos de establecimientos de salud y servicios médicos de apoyo en la ciudad de Trujillo al 2018**

El presente proyecto busca demostrar la viabilidad técnica, económica, financiera, ambiental y de mercado de la planta de tratamiento de residuos sólidos peligrosos de establecimientos de salud y servicios médicos de apoyo en la ciudad de Trujillo.

### **3.2.9. Universidad Hermilio Valdizán (UNHEVAL)**

Los autores no lograron encontrar tesis relacionadas a la gestión de residuos sólidos generados por la carrera profesional de ingeniería industrial en la presente universidad.

### 3.3. Pregunta de Investigación 3

¿Cómo y con qué herramientas o técnicas están abordando los ingenieros industriales las investigaciones relacionadas al tratamiento de residuos sólidos en la región América del Sur y España?

En los países de la región América del Sur también se identifican investigaciones desarrolladas por los ingenieros industriales en relación a la gestión de los residuos sólidos. En Ecuador se han propuesto diferentes alternativas para el manejo de residuos sólidos urbanos, entre ellos se destaca el aprovechamiento de los mismos para la producción de biogás, donde se emplea un análisis cualitativo utilizando la observación exploratoria como técnica para determinar las condiciones en las que se está realizando el manejo de residuos, así como una observación de campo donde se toma en cuenta el lugar de donde surge la situación de los hechos y la necesidad de una correcta gestión, la toma de información, su documentación y la manera como se interpreta los datos obtenidos del análisis de muestras de agua, suelo y lixiviados. Finalmente, se realiza el proceso de aprovechamiento obteniendo biogás después de 30-40 días, el mismo que es utilizado para diferentes fines (LIVICOTA JIMÉNEZ & ALMACHE ASITIMBAY, 2018). Asimismo, los problemas medioambientales ocasionados por residuos sólidos hospitalarios generan también gran impacto ambiental, puesto que la incineración deficiente de los mismos libera al ambiente dioxinas y furanos (altamente tóxicos) así como metales traza de As, Cd, Hg, Ni, Pb (CABRERA QUIROZ, 2005). Para todo ello, los ingenieros industriales aplican el método analítico sintético donde se caracteriza el proceso de implementación de soluciones y actividades destinadas a mejorar el sistema de depuración, así como también el método empírico a través de la observación, el cual permite tener una idea más global de los factores propios del proceso, donde se emplea la entrevista como una técnica para recolectar los datos referentes a los procedimientos; así como también la mejora continua del proceso una vez implementado (Chica Cevallos & Bastidas Espinoza, 2014).

En la industria de alimentos, también se ha implementado planes de manejo de residuos sólidos mediante un proceso que consta de varias etapas: Objetivos, aspecto e impacto ambiental, medidas, indicadores, medio de verificación y responsable; haciendo uso de normativas legales nacionales como el Acuerdo Ministerial 061; NTE INEN 2841(CHIPANTIZA CASTRO, 2019). Igualmente, la industria de cuero está ligada a la generación de residuos sólidos y para poder manejar este tipo de residuos se han propuesto diferentes alternativas, entre las cuales destaca la aplicación de un plan de manejo que consta de varias etapas, como son la separación en la fuente, almacenamiento temporal según lo descrito por la INEN, tratamiento y la disposición final. Aquí es importante que se preste especial atención a la composición de los residuos (Falcón Pazmiño, 2017).

Por su parte, la industria de plásticos ha gestionado sus residuos sólidos mediante el aprovechamiento por reutilización, la cual es una alternativa buena que consta de procesos simples y factibles. Para ello se implementa un plan de manejo de residuos sólidos en el cual el ingeniero industrial realiza un análisis del proceso productivo a través de la observación, se identifica, recolecta, traslada, trata y almacena los residuos generados para su posterior transformación en adoquines, masillas y piezas artesanales; considerando la factibilidad del mismo y dándole de esta manera un nuevo valor a los residuos, reduciendo de esta manera la contaminación medioambiental (Parreño Sisalema, 2015).

Por otro lado, en la industria de pinturas, donde se generan residuos con cantidades considerables de contaminantes, es conveniente implementar un plan de manejo para prevenir, mitigar y corregir los impactos medioambientales, con el propósito de afirmar que las operaciones se lleven a cabo de una manera eficiente. El plan estará compuesto por programas: Programa de concientización ambiental, manejo de desechos sólidos NO peligrosos, manejo de desechos sólidos peligrosos y disposición final; donde se evaluarán los impactos ambientales, se dictarán talleres

de concientización ambiental a los trabajadores y se manejará correctamente los residuos sólidos (separación en la fuente, almacenamiento, tratamiento y disposición final). Aquí, el ingeniero industrial es capaz de realizar una evaluación crítica del proceso productivo, comunicar con elocuencia a los trabajadores sobre la importancia del cuidado del medio ambiente, así como establecer cuán factible es llevar a cabo las mejoras en la empresa y cuán beneficioso resultaría esto (Mora Arraiga, 2017).

Por otra parte, investigaciones realizadas por la Universidad del Zulia en Venezuela realizan el manejo de residuos sólidos siguiendo los pasos desde su generación, almacenamiento, recolección, transporte, transferencia y disposición final, no dejando de reconocer la importancia de métodos de aprovechamiento, reciclaje así como una disposición y tratamiento amigable con el medio ambiente (Sáenz & Urdaneta G., 2014). Entretanto, otras investigaciones realizadas en Colombia por parte de ingenieros industriales destacan cuán importante es el buen manejo de la cadena de suministros para mejorar la productividad a través de la reducción de desperdicios generados durante el proceso (Anaya & Acosta, 2010).

Cabe recalcar que los métodos y técnicas aplicadas en el manejo de residuos sólidos, tienen relación con el nivel compromiso y responsabilidad que adopte la empresa con el medioambiente, ya sea cumpliendo solamente con lo requerido por la ley o eligiendo de manera voluntaria la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA), basado en normativas internacionales confiables y previamente establecidas, como lo es la norma ISO 14001, dando de esta manera un plus a la empresa (Loja, 2007).

Cabe destacar que durante la revisión bibliográfica realizada a Nivel España, no se encontraron trabajos de grado de ingenieros industriales relacionados al manejo de residuos sólidos, todo ello se debe al perfil profesional que tiene establecido, donde la oferta formativa de las universidades españolas es crucial y va direccionado a especialidades ajenas a temas relacionados con la mejora de problemas ambientales.

## CONCLUSIONES

### **Conclusión referida al problema de investigación 01**

De acuerdo con la revisión documental, el perfil para un Ingeniero Industrial que proponen las universidades en el Perú, en términos generales, es aquel que desarrolla competencias para diseñar, gestionar y optimizar sistemas productivos de servicios y/o cadenas productivas y de suministros; perfil que coincide con lo que presenta el CIP en su portal web. Otras competencias que se mencionan en las ofertas académicas de las diversas universidades del Perú, y que coinciden con lo que establece SINEACE, ICACIT y ABET, son por ejemplo el de desarrollar soluciones y proyectos de ingeniería. Luego, con relación a las competencias vinculadas a aspectos ambientales que adquiere el ingeniero industrial, la revisión documental dentro del top ten en el ranking América Economía arrojó que dos de ellas no ofrecen la carrera de ingeniería industrial; de las que ofrecen, cinco de ellas no desarrollan cursos obligatorios en su plan de estudios, y las que sí lo hacen, coincidentemente han desarrollado procesos de acreditación nacional y/o internacional. En cuanto a las sumillas que se desarrollan en los cursos obligatorios antes mencionados, estas contemplan los acápites: normativa nacional, marco legal, norma ISO 14001 y la matriz EIA, y como sub acápite lo relacionado al manejo de residuos sólidos. De esta reducida participación se entiende el porqué, solo una universidad manifiesta formalmente al área de gestión ambiental dentro del campo laboral de los ingenieros industriales; todas las demás universidades, aunque no de manera directa, dejan abierta la participación del profesional a través de los proyectos que desarrollan dentro de las diferentes industrias, principalmente extractivas. Finalmente notamos que siendo las regiones de la sierra y selva peruana las que concentran a la mayoría de las industrias extractivas, la primera cuenta con apenas una oferta académica profesional de ingeniería industrial de gestión estatal, y la segunda con ninguna; en su reemplazo se ofrecen otras carreras profesionales, como ingeniero minero o ingeniero forestal.

## **Conclusión referida al problema de investigación 02**

Para responder a la pregunta de investigación 2 ¿Cómo y con qué herramientas o técnicas están abordando los ingenieros industriales las investigaciones relacionadas al tratamiento de residuos sólidos en Perú? se analizaron nueve universidades peruanas, de las cuales las cinco primeras fueron las más rankeadas a nivel nacional y las cuatro restantes se les consideró en la lista por encontrarse ubicadas estratégicamente desde el punto de vista geográfico y que pudieran atender las necesidades investigativas en zonas donde son más vulnerables la contaminación ambiental y donde se generan residuos sólidos sin mayor control, la sierra y selva del Perú. En las mencionadas universidades se encontraron catorce tesis de pregrado asociadas a las metodologías, herramientas y técnicas que hace uso el ingeniero industrial para dar soluciones prácticas a problemas de gestión de residuos sólidos en Perú, entre ellas tenemos a la Norma ISO 14001:2015 que es la más utilizada y entre otras tenemos: técnica de biodigestores, técnica Takakura, tecnologías limpias, las 4 Rs, y Sistema integrado de gestión de residuos sólidos. Por otra parte es importante mencionar que una de las universidades que más producción científica tiene en relación con la pregunta de investigación fueron la Universidad San Agustín de Arequipa y la Pontificia Universidad Católica del Perú con tres investigaciones cada una. Le siguieron las Universidad Nacional Mayor de San Marcos y la Universidad de Piura con dos investigaciones y las demás Universidades con una investigación cada una de ellas.

## **Conclusión referida al problema de investigación 03**

Con la información anteriormente presentada y a través de los ejemplos descritos, podemos concluir que las investigaciones relacionadas a la gestión de residuos sólidos requieren de competencias importantes por parte del ingeniero industrial, dependiendo del problema ambiental a resolver. El manejo de residuos sólidos



urbanos se llevó a cabo mediante métodos de reutilización por aprovechamiento para la producción de biogás, donde el ingeniero industrial fue capaz de formular y evaluar proyectos a fin de mejorar el manejo de residuos sólidos, mediante un análisis crítico del proceso y aplicando la observación exploratoria y de campo como técnica para la recolección de información. De igual manera, en el manejo de residuos sólidos hospitalarios se llevó a cabo actividades a fin de mejorar el sistema de depuración, recopilando información mediante entrevistas, proponiendo un nuevo plan de manejo de residuos sólidos y mejorando continuamente el proceso de implementación. En cuanto al manejo de residuos sólidos no peligrosos generados en la industria de alimentos, el ingeniero industrial se basó en normativas legales medioambientales, como el Acuerdo Ministerial; NTE INEN 2841 para establecer un plan de manejo que constó de varias etapas: objetivos, aspecto e impacto ambiental, medidas, indicadores, medio de verificación y responsable. El mismo fue socializado con los trabajadores para de esta manera optimizar, innovar y mejorar continuamente el proceso productivo. Entretanto, en la industria de plásticos los resultados del análisis crítico y de factibilidad de las diferentes alternativas de aprovechamiento, permitió la toma de decisiones acertadas a fin de reducir los impactos ambientales, así como mejorar la gestión de los residuos convirtiéndolos a los mismos en nuevos productos. Por otro lado, la resolución de problemas ambientales originados por residuos sólidos de la industria de pinturas, han sido gestionados por ingenieros industriales a través de una evaluación crítica del proceso y la implementación de programas de concientización ambiental, donde la comunicación efectiva con los trabajadores fue crucial para la promoción de una cultura medioambiental y la reducción de la contaminación.

Mediante la revisión bibliográfica desarrollada en algunos países de América del Sur y en España, se logra concluir que dentro de las técnicas y/o herramientas que se emplean en investigaciones direccionadas a la resolución de problemas ambientales, ocasionados por el manejo

inadecuado de residuos sólidos, se encuentra la realización de evaluaciones críticas de los procesos productivos, la implementación de Sistemas de Gestión ambiental basados en la Norma ISO 14001:2015 y/o normativas legales establecidas en cada país, así como sistemas integrados de gestión basados en indicadores ambientales o en el ciclo generación-disposición final, el empleo de técnicas de aprovechamiento por biodigestores, tecnologías limpias, las 4 Rs, y técnica Takakura. Por otra parte, se ha hecho uso también de métodos de análisis, seguimiento y monitoreo, basado en un sistema colaborativo y analizado, todos ellos encaminados a la mejora continua y sostenible de los procesos así como la reducción de costos.

## ANEXOS

### Anexo N.º 1. Resumen de análisis de investigaciones de Universidades Peruanas.

Autor, año	Título	Metodologías, herramientas y técnicas	Problema a solucionar	Universidad
Montoya, M. (2019)	Propuesta de un sistema de gestión ambiental para una lavandería industrial bajo la norma ISO 14001:2015	Norma ISO 14001:2015	Residuos sólidos generados en una lavandería industrial	Pontificia Universidad Católica del Perú

Llallahui, S. (2016)	Aplicación de eco indicadores como herramienta para el diseño de un sistema de gestión ambiental en una empresa metalmecánica	Norma ISO 14001:2015	Reducir los impactos negativos al medio ambiente	Pontificia Universidad Católica del Perú
Rodríguez, D. (2016)	Diseño de un sistema de gestión ambiental basado en la norma ISO 14001:2004 para una empresa que fabrica aparejos para pesca	Norma ISO 14001:2004	Residuos sólidos generados en una empresa textil	Pontificia Universidad Católica del Perú
Cuadrado, L. (2015)	Producción de abono orgánico a partir de residuos sólidos urbanos en Lima Metropolitana	Técnica de biodigestores	Reducir los costos de mantenimiento en parques y jardines a partir de residuos orgánicos	Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Angulo, E. (2017)	Estudio de prefactibilidad para la ampliación y mejoramiento de la planta de tratamiento térmico en una empresa de gestión de residuos industriales	Implementación de una nueva línea operativa con recuperación energética	Mejorar la capacidad de tratamiento térmico en base a residuos sólidos	Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Delgado, G. (2015)	Propuesta de mejora sostenible en el proceso de segregación de residuos sólidos no peligrosos comercializables generados por el área de envasado de una empresa productora de bebidas alcohólicas	Generar mejoras económicas, ambientales mediante una correcta gestión.	Segregación de residuos sólidos dentro de los procesos productivos.	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
Tarazona, E., & Gómez, A. (2019)	Estudio de prefactibilidad para la fabricación de abono a base de residuos sólidos orgánicos	Método Takakura y otros métodos de Ingeniería Industrial.	Residuos sólidos orgánicos, fabricación de abono.	Universidad de Lima

Gambini, R. (2014)	Gestión de residuos sólidos generados por una industria de calzado - evaluación y propuesta para la implementación de un sistema de manejo de residuos sólidos	Gestión de residuos sólidos.	Residuos sólidos en la industria del calzado.	Universidad Nacional de Ingeniería
Mendoza, C. (2019)	Plan de minimización y manejo de residuos sólidos para una planta cementera en Piura	Gestión de residuos sólidos.	Residuos sólidos en una planta cementera.	Universidad de Piura
Zeta, J., Ipanaqué, A., Lazo, L., Negrón, J., & Solar, L. (2013)	Diseño del sistema de gestión de los residuos sólidos para la UDEP-Campus Piura	Gestión de residuos sólidos.	Segregación de residuos sólidos generados en el campus de la Universidad de Piura.	Universidad de Piura

<p>Acobo, A. (2015)</p>	<p>Propuesta e implementación de un plan de manejo ambiental, basado en la norma ISO 14001, para una Empresa de construcción de obras civiles: proyecto de carreteras, para la optimización de recursos.</p>	<p>Plan de manejo ambiental basado en la Norma ISO 14001.</p>	<p>Controlar los aspectos ambientales producto de los diferentes procesos constructivos del Proyecto.</p>	<p>Universidad San Agustín de Arequipa</p>
<p>Garibaldi, H. (2018)</p>	<p>Análisis y reducción de costos de producción en una planta de fabricación de harina de pescado optimizando la implementación y estructuración de un sistema de recuperación de tratamiento de residuos sólidos y líquidos.</p>	<p>Sistema de recuperación de residuos sólidos, Diagramas de Ishikawa, análisis de costos.</p>	<p>Residuos sólidos en los procesos de fabricación de harina de pescado.</p>	<p>Universidad San Agustín de Arequipa</p>

Gonzales, R. (2017)	Diseño de un sistema de gestión ambiental, basado en la norma ISO 14000, para una granja de Postura	Diseño de un SGA - Norma ISO, 14000.	Problemas ambientales en una granja de Postura.	Universidad San Agustín de Arequipa
Benites, G. & Marquina, G. (2017)	Estudio de prefactibilidad para determinar la viabilidad de la instalación de una planta de tratamiento de residuos sólidos peligrosos de establecimientos de salud y servicios médicos de apoyo en la ciudad de Trujillo al 2018	Estudio de prefactibilidad para una planta de tratamiento de residuos sólidos.	Residuos sólidos peligrosos de establecimientos de salud y servicios médicos.	Universidad Nacional de Trujillo

## Anexo N.º 2. Resumen de investigaciones internacionales analizadas

Autor, año	País	Título	Sector Industrial	Competencias requeridas
Ángela Patricia Anaya Mario Fernando Acosta 2010	Colombia	El ingeniero industrial impactando el medio ambiente	Gestión de residuos	Capacidad para formular y evaluar proyectos Optimizar procesos Reducir costos

Alejandrina Sáez Joheni A. Urdaneta G. 2014	Venezuela	Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe	Gestión de residuos urbanos	Capacidad para formular y evaluar proyectos Capacidad de liderar equipos Planear Mejora de procesos productivos
Ricardo Arturo Livicota Jiménez Dennys Fabian Almache Asitimbay 2018	Ecuador	Aprovechamiento de desechos orgánicos urbanos para la producción de biogás	Gestión de residuos urbanos	Capacidad para formular y evaluar proyectos Mejora de procesos productivos Pensamiento crítico



<p>Chica Cevallos Joffre Xavie Bastidas Espinoza Erick Javier 2014</p>	<p>Ecuador</p>	<p>Análisis de los factores en la implementación de un sistema esterilizador de desechos peligrosos para disminuir las infecciones contagiosas en la recolección de desperdicios hospitalarios en los sub-centros de salud del cantón milagro.</p>	<p>Gestión de residuos hospitalarios</p>	<p>Capacidad para formular y evaluar proyectos Pensamiento analítico Capacidad para liderar equipo Mejora de procesos</p>
<p>Jorge Enrique Chinpantiza Castro 2019</p>	<p>Ecuador</p>	<p>Propuesta de un plan de manejo integral de desechos sólidos no peligrosos de la Empresa Banco de Alimentos Diakonía.</p>	<p>Industria Alimentos</p>	<p>Capacidad para formular y evaluar proyectos Pensamiento analítico Pensamiento crítico Liderazgo</p>

Lissette Yolanda Falcón Pazmiño 2017	Ecuador	Plan de manejo de residuos sólidos para la empresa curtiembre Aldas, ubicada en la parroquia de Totoras	Industria de fabricación de cuero	Capacidad para formular y evaluar proyectos
Diego Armando Parreño Sisalema 2015	Ecuador	"Plan de manejo y reutilización de desechos sólidos de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) en CEPOLFI INDUSTRIAL C.A."		Capacidad para formular y evaluar proyectos Pensamiento crítico Toma de decisiones
Wilmer Aurelio Mora Arriaga 2017	Ecuador	"Propuesta de un plan de manejo de desechos sólidos peligrosos de Pinturas Unidas S.A."	Industria de fabricación de pinturas	Capacidad para formular y evaluar proyectos Evaluación crítica del suceso Liderar equipos Organización

<p>Gabriel Enrique Loja Medina</p> <p>2007</p>	<p>Ecuador</p>	<p>“Aplicación de la norma ISO 14001 (pertinente en el problema de desechos sólidos originados en el Cantón Baba - Provincia de Los Ríos)”</p>	<p>Gestión de desechos urbanos</p>	<p>Capacidad para aplicar Sistemas de Gestión Ambiental Liderazgo Pensamiento crítico y analítico</p>
<p>CABRERA QUIROZ VÍCTOR ÁNGEL</p> <p>2005</p>	<p>Ecuador</p>	<p>MEJORA-MIENTO DEL MANEJO Y ELIMINACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS E INFECCIOSOS EN EL HOSPITAL PEDIÁTRICO DR. FRANCISCO DE YCAZA BUSTAMANTE</p>	<p>Gestión de residuos infecciosos</p>	<p>Capacidad para formular y evaluar proyectos</p>

## REFERENCIAS

- Anaya, Á. P., & Acosta, M. F. (2010). El ingeniero industrial impactando el medio ambiente. *Revista Educación En Ingeniería*, 5(9), 179–187. <http://www.educacioneningeneria.org/index.php/edi/article/view/19>
- Angulo, E. (2017). Estudio de prefactibilidad para la ampliación y mejoramiento de la planta de tratamiento térmico en una empresa de gestión de residuos industriales. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Recuperado de: [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/6052/Angulo\\_re.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/6052/Angulo_re.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Accreditation Board for Engineering and Technology. Criteria for Accrediting Engineering Programs. [Online] <https://www.abet.org>
- Cabrera Quiroz, V. Á. (2005). Mejoramiento del manejo y eliminación de desechos sólidos e infecciosos en el hospital pediátrico Dr. Francisco de Ycaza Bustamante. Universidad de Guayaquil.
- Chica Cevallos, J. X., & Bastidas Espinoza, E. J. (2014). Análisis de los factores en la implementación de un sistema esterilizador de desechos peligrosos para disminuir las infecciones contagiosas en la recolección de desperdicios hospitalarios en los subcentros de salud del cantón milagro. Universidad Estatal de Milagro.
- Chipantiza Castro, J. E. (2019). Propuesta de un plan de manejo integral de desechos sólidos no peligrosos de la empresa banco de alimentos diakonía. Universidad de Guayaquil.
- Colegio de Ingenieros del Perú. Capítulo de FIIS. [Online] <http://industrial.cdlima.org.pe/ingeniero-industrial/>

- Cuadrado, L. (2015). Producción de abono orgánico a partir de residuos sólidos urbanos en Lima Metropolitana. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Recuperado de: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/13952>
- Delgado, G. (2015). Propuesta de mejora sostenible en el proceso de segregación de residuos sólidos no peligrosos comercializables generados por el área de envasado de una empresa productora de bebidas alcohólicas. (Tesis de Licenciatura). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima. Recuperado de: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/596706>
- Falcón Pazmiño, L. Y. (2017). "Plan de manejo de residuos sólidos para la empresa curtiembre Aldas, ubicada en la parroquia de Totoras." Universidad técnica de Ambato facultado.
- Gambini, R. (2014). Gestión de residuos sólidos generados por una industria de calzado - evaluación y propuesta para la implementación de un sistema de manejo de residuos sólidos. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Recuperado de: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_25e61de4ebf0c86ff251e3257441c2f1/Description#tabnav](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_25e61de4ebf0c86ff251e3257441c2f1/Description#tabnav)
- Livicota Jiménez, R. A., & Almache Asitimbay, D. F. (2018). Aprovechamiento de los desechos orgánicos urbanos para la producción de biogás (vol. 3, issue 2) [Universidad estatal de Milagro]. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2010v5n1.2536>
- Loja, G. E. (2007). "Aplicación de la norma Iso 14001 (pertinente en el problema de desechos sólidos originados en el cantón Baba - provincia de los Ríos)." Universidad de Guayaquil.

- Llallahui, S. (2016). Aplicación de eco indicadores como herramienta para el diseño de un sistema de gestión ambiental en una empresas metalmeccánica. (Tesis de Licenciatura). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7510>
- Mendoza, C. (2019). Plan de minimización y manejo de residuos sólidos para una planta cementera en Piura. (Tesis de Licenciatura). Universidad de Piura, Piura. Recuperado de: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4051>
- MINAM. Gestión de Residuos Sólidos. [Online] <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/gestion-de-residuos-solidos/>
- MINAM. Nueva Ley de Residuos Sólidos DS1278. [Online] <http://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/nueva-ley-de-residuos-solidos/>
- Montoya, M. (2019). Propuesta de un sistema de gestión ambiental para una lavandería industrial bajo la norma ISO 14001:2015. Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15571>
- Mora Arraiga, W. A. (2017). "Propuesta de un plan de manejo de desechos sólidos peligrosos de Pinturas Unidas S.A." Universidad de Guayaquil.
- Parreño Sisalema, D. A. (2015). "Plan de manejo y reutilización de desechos sólidos de plástico reforzado con fibra de vidrio (prfv) en Cepolfi Industrial C.A." Universidad técnica de Ambato.
- Ponte en carrera. [Online] <http://www.ponteencarrera.pe/>
- PUCP Ingeniería industrial. [Online] <https://www.pucp.edu.pe/carrera/ingenieria-industrial/>

- Rodríguez, D. (2016). Diseño de un sistema de gestión ambiental basado en la norma ISO 14001:2004 para una empresa que fabrica aparejos para pesca. (Tesis de licenciamiento). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1720>
- Sáenz, A., & Urdaneta G., J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(03), 121-135. <https://doi.org/10.5860/choice.44-1347>
- SUNEDU. Modelo de Licenciamiento. [Online] <http://www.sunedu.edu.pe>
- Tarazona, E., & Gómez, A. (2019). Estudio de prefactibilidad para la fabricación de abono a base de residuos sólidos orgánicos. (Tesis de Licenciatura). Universidad de Lima, Lima. Recuperado de: [https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/ulima/10557/Tarazona\\_Tello\\_Ethel\\_Jimena.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/ulima/10557/Tarazona_Tello_Ethel_Jimena.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- UDEP Ingeniería industrial y sistemas. [Online] <http://udep.edu.pe/admision/piura/ingenieria-industrial-y-de-sistemas/>
- ULIMA Ingeniería industrial. [Online] <https://www.ulima.edu.pe/pregrado/ingenieria-industrial>
- UNHEVAL Ingeniería industrial. [Online] <https://www.unheval.edu.pe/fiis/>
- UNI Ingeniería industrial. [Online] <https://www.uni.edu.pe/index.php/facultades/ingenieria-industrial-y-de-sistemas/ingenieria-industrial>
- UNITRU Ingeniería industrial. [Online] <http://facing.unitru.edu.pe/index.php/especialidades/industrial/perfil-del-egresado>
- University of Edinburgh. Systematics Reviews and Meta Analyses. [Online] <https://www.ccace.ed.ac.uk/research/software-resources/systematic-reviews-and-meta-analyses>

UNSA Ingeniería industrial. [Online] <http://fips.unsa.edu.pe/ingenieriaindustrial/>

UPC Ingeniería industrial. [Online] <https://pregrado.upc.edu.pe/facultad-de-ingenieria/ingenieria-industrial/>

WEBOMETRICS. Ranking Universidades. [Online] [https://www.webometrics.info/es/latin\\_america\\_es/per%C3%BA](https://www.webometrics.info/es/latin_america_es/per%C3%BA)

Zeta, J., Ipanaqué, A., Lazo, L., Negrón, J., & Solar, L. (2013). Diseño del sistema de gestión de los residuos sólidos para la UDEP-Campus Piura. (Tesis de Licenciatura). Universidad de Piura, Piura. Recuperado de: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1715/PYT\\_Informe\\_Final\\_DSGRS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1715/PYT_Informe_Final_DSGRS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)





# EL IMPACTO AMBIENTAL DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA EN LA INDUSTRIA

Pablo César Gutiérrez Falcón<sup>a</sup>  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Universidad Tecnológica del Perú  
Luis Carlos Benavente Villena<sup>b</sup>  
Universidad Nacional Enrique Guzmán y Valle  
Universidad Ricardo Palma

---

## Resumen

La protección del ambiente y la respuesta a las condiciones ambientales cambiantes, en equilibrio con las necesidades socioeconómicas, son elementos que debe afrontar el Ingeniero Industrial, en concordancia con las tendencias ambientales que se están incorporando en los estándares internacionales como, por ejemplo, en la norma ISO 14001:2015. En respuesta a este contexto, la metodología del Análisis de Ciclo de Vida se constituye en una herramienta útil para reducir el impacto ambiental de sistemas, procesos, productos y servicios. En este documento se examina, en su primera parte, la perspectiva del Análisis de Ciclo de Vida, abarcando sus generalidades, normalización, técnicas y base de datos, así como, en su segunda parte, su aplicación en la industria de generación de energía, manufactura, construcción y agrícola, presentando mejoras en el desempeño ambiental y energético, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros.

**Palabras clave:** Análisis de Ciclo de Vida, ACV, ISO 14041, aspecto ambiental, impacto ambiental

## Abstract

The protection of the environment and the response to changing environmental conditions, in balance with socioeconomic needs, are elements that the Industrial Engineer must face, in accordance with the environmental trends that are being incorporated into international standards, such as, for example, ISO 14001:2015. In response to this context, the Life Cycle Analysis is a useful tool to reduce the environmental impact of systems, processes, products and services. This document examines, in its first part, the perspective of the Life Cycle Analysis, covering its generalities, standardization, techniques and database, as well as, in its second part, its application in the power generation, manufacturing, construction and agriculture, presenting improvements in environmental and energy performance, reduction of greenhouse gas emissions, among others.

**Keywords:** Life Cycle Analysis, LCA, ISO 14041, environmental aspect, environmental impact

<sup>a</sup> Magister en Ingeniería Industrial con mención en Gestión Industrial – [pgutierrezf@unmsm.edu.pe](mailto:pgutierrezf@unmsm.edu.pe) / [pccgutierrezf@gmail.com](mailto:pccgutierrezf@gmail.com)

<sup>b</sup> Magister en Ingeniería industrial con mención en Gestión de Operaciones y Productividad – [luis-carlos.benavente@unmsm.edu.pe](mailto:luis-carlos.benavente@unmsm.edu.pe) / [luisbenaventevillena@yahoo.es](mailto:luisbenaventevillena@yahoo.es)

## 1. INTRODUCCIÓN

A fines del siglo XX, la Organización Internacional para la Normalización (ISO) publicó normas internacionales de carácter voluntario que desarrollaban el concepto y metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) con el propósito de reducir el impacto ambiental proveniente de sistemas, procesos, productos y servicios.

Con la publicación de la versión 2015 de la norma internacional ISO 14001 se busca que, dentro del alcance de los sistemas de gestión ambiental, se deba identificar los aspectos ambientales<sup>1</sup> de sus actividades, productos y servicios que se puedan controlar y aquellos en los que se pueda influir, y sus impactos ambientales<sup>2</sup> asociados, desde una perspectiva de ciclo de vida.

Es por ello que el Ingeniero Industrial debe conocer, comprender y aplicar herramientas de gestión ambiental, como el ACV, que le permita diseñar, fabricar, distribuir, consumir y disponer los productos o servicios, usando una perspectiva de ciclo de vida que pueda prevenir que los impactos ambientales sean involuntariamente trasladados a otro punto del ciclo de vida, buscando proteger el ambiente y responder a las condiciones ambientales cambiantes, en equilibrio con las necesidades socioeconómicas.

## 2. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

### 2.1. Generalidades

El ACV es una técnica utilizada para la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un proceso de provisión de productos o servicios (ISO, 2006) a través de sus etapas

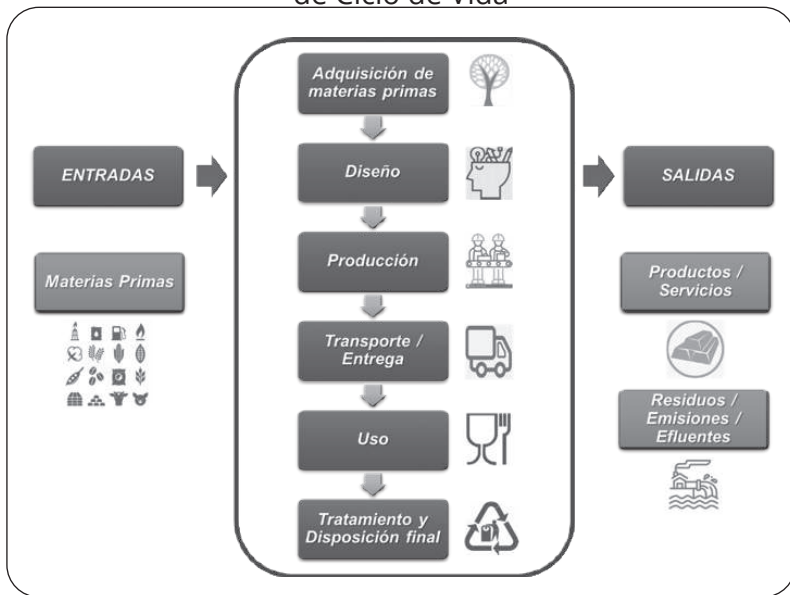
---

<sup>1</sup> Se define “aspecto ambiental” como el elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que interactúa o puede interactuar con el ambiente (ISO, 2015a).

<sup>2</sup> Se define “impacto ambiental” como el cambio en el ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización (ISO, 2015a).

consecutivas e interrelacionadas desde la adquisición de materias primas, el diseño, la producción, el transporte/ entrega, el uso, el tratamiento al finalizar la vida y la disposición final<sup>3</sup>(ISO,2015a)con el propósito de determinar estrategias para la reducción de los impactos ambientales potenciales (IHOBE, 2009). El ACV se ha convertido en una metodología referenciada constantemente dentro de la literatura científica debido a su perspectiva holística cuando se trata de calcular las cargas ambientales desde la perspectiva del ciclo de vida (Hellweg & Mila i Canals, 2014). En la **Figura N.º 1** se muestra esquemáticamente la perspectiva del ACV.

**Figura N.º 1.** Perspectiva de un Análisis de Ciclo de Vida



Fuente: IHOBE (2009)

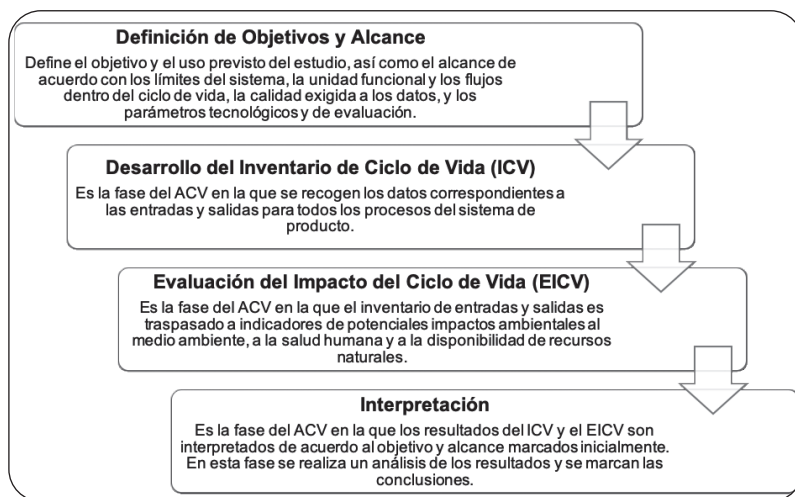
<sup>3</sup> Se define “ciclo de vida” como las etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema de producto (o servicio), desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final (ISO, 2015a).

## 2.2. Normalización del ACV

### 2.2.1. Normalización del ACV por ISO

La Organización Internacional para la Normalización (ISO) estableció un marco para la estandarización de la metodología de ACV, según la familia de normas ISO 14040 constituida inicialmente por 4 normas internacionales (**Tabla N.º 1**), pero con el pasar de los años se han publicado 13 documentos (normas internacionales e informes técnicos), clasificadas como ICS<sup>4</sup> 13.020.60 - Ciclo de vida de los productos (**Tabla N.º 2**). Este marco de estandarización establece 4 fases para un estudio del ACV que se presenta en la **Figura N.º 2**.

**Figura N.º 2.** Fases de un estudio de ACV



**Fuente:** IHOBE (2009)

<sup>4</sup> En inglés, International Classification for Standards – ICS.

**Tabla N.º 1.** Familia de norma ISO 14040 (original)

Norma Internacional	Descripción	Año de Publicación*
ISO 14040 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Principios y marco	Especifica el marco general, principios y necesidades básicas para realizar un estudio de ACV, no se describe la técnica de ACV en detalle.	1997
ISO 14041 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Definición de objetivos, alcance y análisis de inventario	Especifica las necesidades y procedimientos para elaborar la definición de los objetivos del estudio de ACV y para realizar, interpretar el informe de la evaluación del inventario de ciclo de vida (ICV).	1998
ISO 14042 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Evaluación del impacto del ciclo de vida	Describe y establece una guía de la estructura general de la fase de la evaluación del inventario del ciclo de vida (EICV). Se especifican los requerimientos para llevar a cabo un ACV y se relaciona con otras fases del ACV.	2000
ISO 14043 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Interpretación del ciclo de vida	Proporciona las recomendaciones para realizar la fase de interpretación de un ACV o los estudios de un ICV. No se especifican métodos determinados para llevar a cabo esta fase.	2000

(\*) Año de publicación de la primera edición de las normas internacionales. **Fuente:** Adaptado del Comité Técnico de Normalización de Gestión Ambiental (2004)

**Tabla N.º 2.** Normas Internacionales con clasificación Ciclo de Vida del Producto (ICS 13.020.60)

Norma Internacional	Año de Publicación*	Estado	Comité Técnico Sub-Comité ISO
ISO 14040 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Principios y marco	2006	En revisión	TC 207 / SC 5 Análisis de Ciclo de Vida

ISO 14044 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Requisitos y directrices	2006	En revisión	TC 207 / SC 5 Análisis de Ciclo de Vida
ISO 14044:2006 / AMD 1 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Requisitos y directrices - Enmienda 1	2017	Publicada	TC 207 / SC 5 Análisis de Ciclo de Vida
ISO 14045 Gestión ambiental - Evaluación de la ecoeficiencia de los sistemas de productos - Principios, requisitos y directrices	2012	En revisión	TC 207 / SC 5 Análisis de Ciclo de Vida
ISO 14046 Gestión ambiental - Huella hídrica - Principios, requisitos y directrices	2014	En revisión	TC 207 / SC 5 Análisis de Ciclo de Vida
ISO / TR 14047 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Ejemplos ilustrativos sobre cómo aplicar ISO 14044 a situaciones de evaluación de impacto	2012	Publicada	TC 207 / SC 5 Análisis de Ciclo de Vida
ISO / TS 14048 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Formato de documentación de datos	2002	En revisión	TC 207 / SC 5 Análisis de Ciclo de Vida
ISO / TR 14049 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Ejemplos ilustrativos sobre cómo aplicar ISO 14044 a la definición de objetivos y alcance y al análisis de inventario	2012	Publicada	TC 207 / SC 5 Análisis de Ciclo de Vida
ISO / TS 14071 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Procesos de revisión crítica y competencias del revisor: Requisitos y directrices adicionales a ISO 14044: 2006	2014	En revisión	TC 207 / SC 5 Análisis de Ciclo de Vida
ISO / TS 14072 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Requisitos y directrices para la evaluación del ciclo de vida de la organización	2014	En revisión	TC 207 / SC 5 Análisis de Ciclo de Vida

ISO / TR 14073 Gestión ambiental - Huella hídrica - Ejemplos ilustrativos sobre cómo aplicar ISO 14046	2017	Publicada	TC 207 / SC 5 Análisis de Ciclo de Vida
ISO 16759 Tecnología gráfica: cuantificación y comunicación para calcular la huella de carbono de los productos de medios impresos	2013	En revisión	TC 130 Tecnología Gráfica
ISO 20294 Tecnología gráfica: cuantificación y comunicación para calcular la huella de carbono de los medios electrónicos	2018	Publicada	TC 130 Tecnología Gráfica

(\*) Año de publicación de la versión vigente de las normas internacionales.

**Fuente:** Adaptado del Catálogo de Normas de ISO, consultado en agosto del 2020 (ISO, s.f.)

## 2. 2. 2. Normalización del ACV en el Perú

En el año 1998, se conformó el Comité Técnico de Normalización de Gestión Ambiental (CTNGA), promovido por el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) y el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI)<sup>5</sup>, instituciones públicas que en ese año cumplían el rol de autoridad ambiental y organismo peruano de normalización, respectivamente.

El CTNGA<sup>6</sup> inició su labor adaptando las normas de la serie ISO 14000, emitidas por el Organismo Internacional de Normalización (ISO) con el propósito de facilitar al empresariado peruano la aplicación de dichas normas (Comité Técnico de Normalización de Gestión Ambiental,

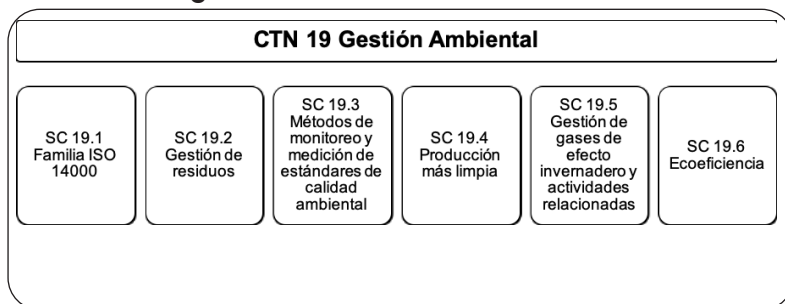
<sup>5</sup> Con la promulgación de la Ley N° 30224, Ley que crea el Sistema Nacional para la Calidad y el Instituto Nacional de Calidad (10 de julio de 2014), la Dirección de Normalización del Instituto Nacional de la Calidad se constituye como la autoridad competente en materia de normalización es responsable de la creación de los Comités Técnicos de Normalización (CTN) como cuerpos colegiados conformados por representantes vinculados a la materia a normalizar: productores, consumidores, técnicos o académicos, públicos y privados (Congreso de la República del Perú, 2014).

<sup>6</sup> En el listado publicado en la página web del INACAL, el CTNGA aparece como CTN 19 (INACAL, s.f.)



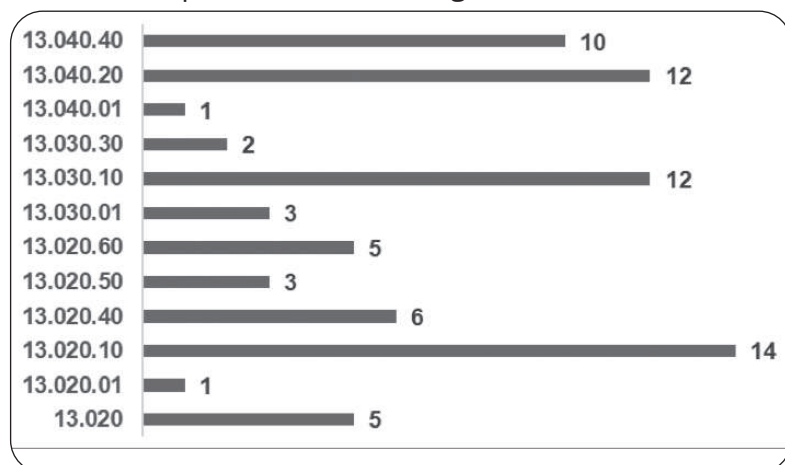
2004). El Instituto Nacional de la Calidad (INACAL) tiene conformado 6 subcomités dentro del CTNGA (**Figura N.º 3**), y ha aprobado 7 guías (GP) y 67 Normas Técnicas Peruanas (NTP) codificadas dentro de la categoría “ICS 13 – Ambiente. Protección a la salud. Seguridad”, según el Sistema Internacional de Estándares (**Figura N.º 4**).

**Figura N.º 3.** Estructura del CTNGA



Elaboración Propia. **Fuente:** Adaptado del Buscador de Normas de Técnicas Peruanas del INACAL, consultado en agosto del 2020 (INACAL, s.f.)

**Figura N.º 4.** Guías y Normas Técnicas Peruanas emitidas por el INACAL ( categoría ICS 13)



Elaboración Propia. **Fuente:** Adaptado de los Comités Técnicos de Normalización de INACAL, consultado en agosto del 2020 (INACAL, s.f.)

De la **Tabla N.º 2**, el INACAL ha adoptado 5 normas internacionales como NTP (**Tabla N.º 3**).

### 2.3. Inventario de ciclo de vida (ICV)

Dentro del ACV se tiene en cuenta las entradas y salidas<sup>7</sup> de un proceso de provisión de productos o servicios (**Tabla N.º 4**). La manera y forma en la que se recopilan estas entradas y salidas se conoce como Inventario de ciclo de vida – ICV (IHOBE, 2009), es decir corresponde a la fase del análisis del ciclo de vida que implica la recopilación y la cuantificación de entradas y salidas para un de provisión de productos o servicios, a través de su ciclo de vida (ISO, 2006).

**Tabla N.º 3.** Breve resumen de las NTP clasificadas como ICS 13.020.60

NTP	NTP-ISO 14040 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia	Año de Publicación	2017
<b>Resumen</b>			
<p>Describe los principios y el marco de referencia para el ACV incluyendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. la definición del objetivo y el alcance del ACV,</li> <li>b. la fase de análisis del inventario del ciclo de vida (ICV),</li> <li>c. la fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV),</li> <li>d. la fase de interpretación del ciclo de vida,</li> <li>e. el informe y la revisión crítica del ACV,</li> <li>f. las limitaciones del ACV,</li> <li>g. la relación entre las fases del ACV, y</li> <li>h. las condiciones de utilización de juicios de valor y de elementos opcionales.</li> </ul> <p>Además, comprende los estudios del ACV y los estudios de análisis del ICV. No describe la técnica de ACV en detalle, ni especifica metodologías para las fases individuales del ACV.</p> <p>La aplicación prevista de los resultados del ACV o ICV se considera al definir el objetivo y el alcance, pero la aplicación en sí misma está fuera del alcance de esta NTP.</p> <p>La NTP no está prevista para fines contractuales o reglamentarios, ni para registro y certificación.</p>			

<sup>7</sup> Se define como “salida” como el resultado de un proceso (ISO, 2015b).

<b>NTP</b>	<b>NTP-ISO 14044 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices. 2ª Edición</b>	<b>Año de Publicación</b>	<b>2019</b>
<b>Resumen</b>			
<p>Establece los principios y el marco de referencia para el ACV incluyendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. la definición del objetivo y el alcance del ACV;</li> <li>b. la fase de análisis del inventario del ciclo de vida (ICV);</li> <li>c. la fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV);</li> <li>d. la fase de interpretación del ciclo de vida;</li> <li>e. el informe y la revisión crítica del ACV;</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>f. las limitaciones del ACV; g) la relación entre las fases del ACV; y</li> <li>g. las condiciones de uso de juicios de valor y de elementos opcionales.</li> </ul> <p>Además, comprende los estudios del ACV y los estudios de análisis del ICV. La aplicación prevista de los resultados de ACV o ICV se considera al definir el objetivo y el alcance, pero la aplicación en sí misma está fuera del alcance de esta NTP.</p> <p>La NTP no está previsto para fines contractuales o reglamentarios ni para registro y certificación.</p>			
<b>NTP</b>	<b>NTP-ISO 14045:2013 (revisada el 2018) Gestión ambiental. Evaluación de la ecoeficiencia del sistema del producto. Principios, requisitos y directrices. 1ª Edición</b>	<b>Año de Publicación</b>	<b>2018</b>
<b>Resumen</b>			
<p>Describe los principios, requisitos y directrices para la evaluación de la ecoeficiencia del sistema del producto, incluyendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. la definición de los objetivos y del alcance de la evaluación de la ecoeficiencia;</li> <li>b. la evaluación ambiental;</li> <li>c. la evaluación del valor del sistema del producto;</li> <li>d. la cuantificación de la ecoeficiencia;</li> <li>e. la interpretación (incluyendo el aseguramiento de la calidad);</li> <li>f. la comunicación de los resultados;</li> <li>g. la revisión crítica de la evaluación de la ecoeficiencia.</li> </ul> <p>No están incluidos los requisitos, las recomendaciones ni las directrices para las selecciones específicas de las categorías de impacto ambiental y de los valores. El uso previsto de la evaluación de la ecoeficiencia está considerado en la fase de definición de los objetivos y del alcance, pero el uso real de los resultados está fuera del alcance de esta NTP</p>			

<b>NTP</b>	<b>NTP-ISO 14046 Gestión ambiental. Huella de agua. Principios, requisitos y directrices. 1a Edición</b>	<b>Año de Publicación</b>	<b>2017</b>
<b>Resumen</b>			
<p>Especifica los principios, los requisitos y las directrices relacionados con la evaluación de la huella de agua de productos, procesos y organizaciones basada en el ACV. Además, proporciona los principios, los requisitos y las directrices para realizar e informar de una evaluación de huella de agua única o individual, o como parte de una evaluación ambiental más integral.</p> <p>Sólo las emisiones al aire y los vertidos al suelo con impactos en la calidad del agua se incluyen en la evaluación y no se incluyen todas las emisiones al aire o vertidos al suelo.</p> <p>El resultado de la evaluación de la huella de agua es un valor individual; o un perfil de los resultados del indicador del impacto. Aunque el informe está dentro del campo de aplicación de esta NTP, la comunicación de los resultados de la huella de agua, por ejemplo, en forma de etiquetas o declaraciones, está fuera del campo de aplicación de esta norma.</p>			
<b>NTP</b>	<b>NTP-RT/ISO TR 14049:2014 (revisada el 2019) Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Ejemplos ilustrativos de la aplicación de la ISO 14044 para la definición del objetivo, del alcance y el análisis de inventario. 1ª Edición</b>	<b>Año de Publicación</b>	<b>2019</b>
<b>Resumen</b>			
<p>Este Informe Técnico ofrece ejemplos sobre prácticas en la realización de un análisis de ICV como una forma de cumplir con algunas disposiciones de la ISO 14044:2006. Dichos ejemplos son únicamente una muestra de los posibles casos que cumplen con las disposiciones de la ISO 14044; ofrecen “una manera” o “maneras” en lugar de “la única manera” de aplicar la ISO 14044. Estos ejemplos reflejan únicamente partes de un estudio completo de ICV.</p>			

**Fuente:** Adaptado del Buscador de Normas Técnicas Peruanas del INACAL, consultado en agosto del 2020 (INACAL, s.f.)

#### **Tabla N.º 4. Entradas y Salidas de un Proceso**

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>
Entradas	Uso de recursos y materias primas, partes y productos, transporte, electricidad, energía, etc., que se tienen en cuenta en cada proceso.

Salidas	Productos <sup>a</sup> o servicios <sup>b</sup> . Emisiones al aire, al agua y al suelo, así como los residuos y los subproductos que se tienen en cuenta en cada proceso.
---------	---

**Fuente:** Elaboración propia. Nota. aSe define como “producto” como la salida de una organización que puede producirse sin que se lleve a cabo ninguna transacción entre la organización y el cliente (ISO, 2015b). El elemento dominante de un producto es aquel que es generalmente tangible. bSe define como “servicio” como la salida de una organización con al menos una actividad, necesariamente llevada a cabo entre la organización y el cliente (ISO, 2015b). Los elementos dominantes de un servicio son generalmente intangibles.

El ACV de un producto debería incluir todas las entradas y salidas de los procesos que participan a lo largo de su ciclo de vida: la extracción de materias primas y el procesamiento de los materiales necesarios para la manufactura de componentes, el uso del producto y finalmente su reciclaje y/o la disposición final. El transporte, almacenaje, distribución y otras actividades intermedias entre las fases del ciclo de vida también se incluyen cuando tienen la relevancia suficiente. A este tipo de ciclo de vida se le denomina comúnmente “de la cuna a la tumba” (**Figura N.º 5**). Cuando el alcance del sistema se limita a las entradas y salidas desde que se obtienen las materias primas hasta que el producto se pone en el mercado (a la salida de la planta de producción), se le denomina como “de la cuna a la puerta”; y cuando solo se tienen en cuenta las entradas y salidas del sistema productivo, se le llama “de la puerta a la puerta”.

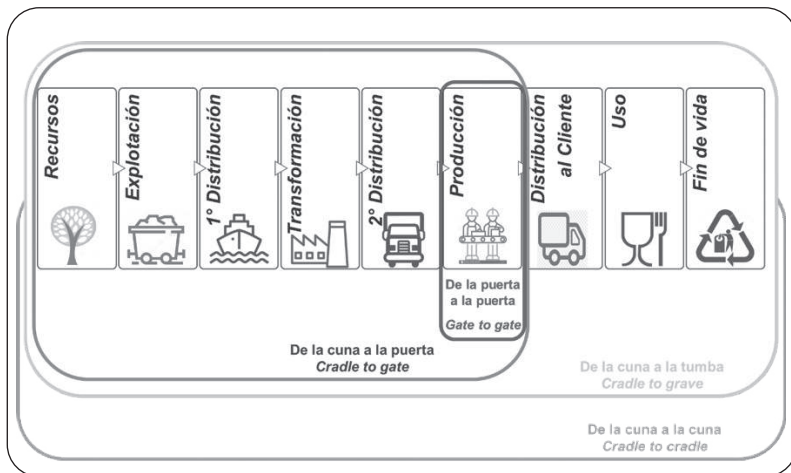
Sin embargo, es el alcance de todo el ciclo de vida (de la cuna a la tumba) el único que asegura que las cargas ambientales de una fase no se traspasan a otras fases del ciclo de vida. Esto significa que, por ejemplo, externalizar un proceso del sistema contratando a un proveedor externo, no evita la contabilización de la carga ambiental asociada a ese proceso. Aunque el mismo no esté en la propia planta, el concepto holístico del ACV obliga a tenerlo en cuenta.

Un nuevo enfoque, basado en tener en cuenta que las corrientes de salida del “Fin de Vida” del sistema pueden ser valoradas como materias primas y/o entradas al

mismo sistema o a otro, está teniendo un importante reconocimiento en los últimos años. A este tipo de enfoque en ACV se le denomina como “de la cuna a la cuna”.

La suma total de entradas y salidas sienta las bases para un posterior análisis y evaluación de los efectos ambientales relacionados con el producto. Esta agregación de recursos y emisiones hacia daños al medio ambiente y al ser humano es lo que se denomina Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV).

**Figura N.º 5.** Terminología relacionada con el alcance de un ACV



Fuente: IHOBE (2009)

## 2. 4. Evaluación de impactos de ciclo de vida (EICV)

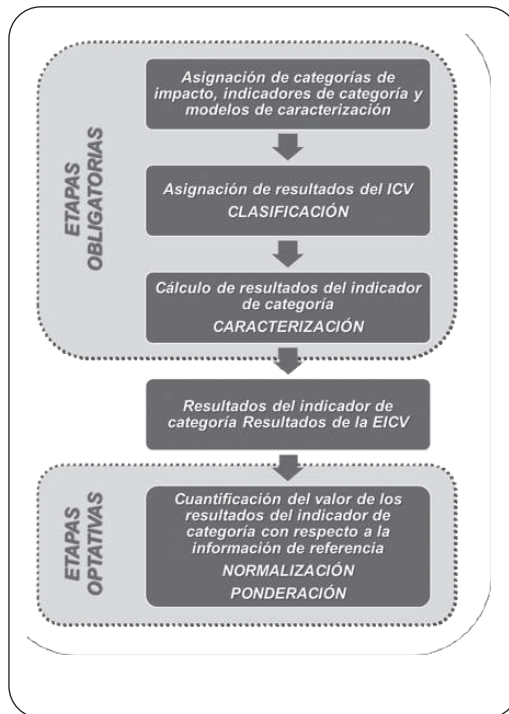
La EICV es una fase del análisis del ciclo de vida dirigida a conocer y evaluar la magnitud y cuán significativos son los impactos ambientales potenciales de un proceso de provisión de productos o servicios a través de todo su ciclo de vida (ISO, 2006); en esta fase se emplea un método de evaluación para transformar los datos recogidos en el ICV, en resultados de carácter ambiental (IHOBE, 2009).

Es en definitiva la Fase del ACV que caracteriza el resultado final del mismo y una de las que mayor controversia

causa, ya que no existe acuerdo común en la comunidad internacional para el establecimiento de un modelo único de evaluación de impactos ambientales. La norma ISO 14040 establece una serie de pasos o etapas que se presentan en la **Figura N.º 6**.

Para la aplicación de las fases de EICV se tiene disponible una gran cantidad de métodos. Una diferencia importante entre los diferentes métodos de evaluación de impactos reside en la opción de analizar el efecto último del impacto ambiental o bien, considerar los efectos intermedios (**Tabla N.º 5**).

**Figura N.º 6.** Esquema de la Fase de EICV según la norma ISO 14040



Fuente: IHOBE (2009)

**Tabla N.º 5.** Tipos de Base de Datos de ACV

Tipo de Categoría de Impacto Ambiental	Descripción
Intermedias (midpont)	<p>Son métodos que tienen como resultado la definición de un perfil ambiental, mediante la cuantificación del efecto ambiental sobre diversas categorías (acidificación, destrucción capa de ozono, etc.) del producto / proceso / servicio analizado.</p> <p>Estos métodos proporcionan una información más detallada de qué manera y en qué punto se afecta el medio ambiente, pero solo alcanzan sólo la evaluación de los efectos indirectos o intermedios sobre el ser humano.</p>
Finales (endpoint)	<p>Son métodos que analizan el efecto último del impacto ambiental, esto es, tratan de identificar y definir el daño causado al hombre y a los sistemas naturales.</p> <p>Estos métodos incluyen variables que afectan directamente a la sociedad, por tanto, su elección resultaría más relevante y comprensible a escala global.</p>

**Fuente:** Adaptación de Meire (2016)

En la **Tabla N.º 6** se describen algunos métodos, señalando la dirección electrónica donde se puede obtener más información de estos.

**Tabla N.º 6.** Métodos para EICV

Métodos	Desarrollado por:	Descripción
Eco-indicador 95 (PRé Sustainability, 2013a)	PRé Sustainability	<p>Este método pondera los efectos ambientales que dañan los ecosistemas o la salud humana a nivel de Europa, además es utilizado por diseñadores de productos para agregar resultados de ACV en números o unidades fáciles de entender y usar. Incluye una lista de 100 indicadores para materiales y procesos de uso común.</p> <p>Los manuales se encuentran en la siguiente dirección electrónica:  <a href="https://pre-sustainability.com/articles/eco-indicator-95-manuals/">https://pre-sustainability.com/articles/eco-indicator-95-manuals/</a></p>



Eco-indicador 99 (PRé Sustainability, 2013b)	PRé Sustainability	<p>Ante las críticas al método Eco-indicador 95 por expertos ambientales debido a que algunos aspectos ambientales no se tuvieron en cuenta, se desarrolló el método Eco-indicador 99, que muchos más aspectos ambientales y es más complejo pero los eco-indicadores resultantes aún son fáciles de usar. Tiene dos requisitos importantes para el paso de ponderación, si se utiliza un panel:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El número de sujetos a ponderar debe ser lo más pequeño posible.</li> <li>2. Los temas a ponderar deben ser fáciles de explicar a un panel.</li> </ol>
Eco-indicador 99 (PRé Sustainability,	PRé Sustainability	<p>De estos requisitos, se evalúa los siguientes tres tipos de daños ambientales: Salud humana, Calidad del ecosistema, y Recursos. Este método está destinado a ser utilizado por diseñadores y gerentes de producto que deseen aplicar los valores estándar de eco-indicadores para la evaluación de los aspectos ambientales de los sistemas de productos. Los manuales se encuentran en la siguiente dirección electrónica:  <a href="https://pre-sustainability.com/articles/eco-indicator-99-manuals/">https://pre-sustainability.com/articles/eco-indicator-99-manuals/</a></p>
ReCiPe (PRé Sustainability, 2012)	PRé Sustainability	<p>Este método tiene por objetivo transformar la larga lista de resultados del ICV en un número limitado de puntuaciones de indicadores. Las puntuaciones de estos indicadores expresan la gravedad relativa de una categoría de impacto ambiental. Se determinan indicadores de dos niveles: Midpoint (18 indicadores) y Endpoint (3 indicadores). ReCiPe 2016 es una mejora con respecto a ReCiPe 2008 y sus predecesores CML 2000 y Eco-Indicador 99. El manual se encuentra en la siguiente dirección electrónica:  <a href="https://www.pre-sustainability.com/legacy/download/Report_ReCiPe_2017.pdf">https://www.pre-sustainability.com/legacy/download/Report_ReCiPe_2017.pdf</a></p>

CML 2001 (Institute of Environmental Sciences - Leiden University, s.f.)	Institute of Environmental Sciences	Este manual reemplaza a la versión del año 1992. Presenta una guía operativa de las normas ISO para el ACV, que cubre desde la mejor elección de métodos para todas las fases de un estudio de ACV hasta una discusión científica detallada sobre cuestiones metodológicas. La reseña de este manual está disponible en la siguiente dirección electrónica: <a href="https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-projects/science/cml-new-dutch-lca-guide">https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-projects/science/cml-new-dutch-lca-guide</a>
EIO-LCA (Green Design Institute - Carnegie Mellon University, s.f.)	Green Design Institute	El método Economic Input-Output Life Cycle Assessment (EIO-LCA) estima los materiales y recursos energéticos requeridos para, y las emisiones ambientales resultantes de, actividades en la economía. Es una técnica para realizar el análisis del ciclo de vida, la evaluación de los impactos ambientales de un producto o proceso durante todo su ciclo de vida. El método utiliza información sobre transacciones de la industria: compras de materiales de una industria a otras
EIO-LCA (Green Design Institute - Carnegie Mellon University, s.f.)	Green Design Institute	industrias, y la información sobre las emisiones ambientales directas de las industrias, para estimar las emisiones totales a lo largo de la cadena de suministro. La herramienta está disponible en la siguiente dirección electrónica: <a href="http://www.eiolca.net/cgi-bin/dft/use.pl">http://www.eiolca.net/cgi-bin/dft/use.pl</a>
IMPACT World+ (IMPACT World+, s.f.)	IMPACT World+	El método integra múltiples investigaciones, así como daños en áreas de agua y carbono de interés dentro de un marco de EICV, además proporciona factores de caracterización coherentes para todos los impactos regionalizados en cuatro ámbitos: global, continental, país y nativas. Publicaciones y aplicaciones están disponibles en la siguiente dirección electrónica: <a href="http://www.impactworldplus.org/en/publications.php">http://www.impactworldplus.org/en/publications.php</a>

ILCD 2011 (European Commission, s.f.)	Institute for Environment and Sustainability	<p>El ILCD (International Life Cycle Data system) consta de un manual de ILCD y los requisitos de nivel de entrada adicionales, y la red de datos del ciclo de vida (LCDN), además de una variedad de documentos y herramientas de respaldo. <a href="https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ilcd.html">https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ilcd.html</a></p> <p>El Manual ILCD cubre todos los aspectos de la realización de un ACV: definir el objetivo y la audiencia objetivo, recopilar datos sobre el consumo de recursos y las emisiones que se pueden atribuir a un producto específico, calcular la contribución a los impactos en el medio ambiente, verificar la solidez y la importancia de los resultados y conclusiones, e informar y revisar para garantizar la transparencia y la calidad. <a href="https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ilcdHandbook.html">https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ilcdHandbook.html</a></p>
---------------------------------------	--	---

**Fuente:** Elaboración propia.

## 2.5. Bases de Datos de ACV

Para desarrollar un estudio de ACV de productos complejos, como por ejemplo los edificios, se requiere de la recolección de una gran cantidad de datos cuantitativos para cada una de las etapas de su ciclo de vida: extracción de mineral de hierro, al transporte del cemento y otros materiales de construcción, consumo de diésel para la operación de equipos durante la construcción, consumo de electricidad y agua durante el uso del edificio, etc. Para facilitar esta tarea, diferentes organizaciones han desarrollado bases de datos con información de inventario de ciclo de vida que recogen información sobre las entradas y salidas de diferentes procesos, aunque difieren en el tipo de producto y proceso para el cuál ofrecen información y también en el nivel de agregación de la información mostrada. Las bases de datos se pueden diferenciar dos tipos de ellas en función de los datos que contengan (**Tabla N.º 7**), aunque algunas de estas bases de datos son de uso gratuito, pero la gran mayoría están sujetas a una licencia comercial.

**Tabla N.º 7.** Tipos de Base de Datos de ACV

Tipo de Base de Datos	Descripción
Bases de datos de ICV	<p>Son bases de datos con las entradas y salidas que se emplean para simular el sistema analizado en el ICV. Están formadas por datos de muy diversos materiales y procesos, generalmente agrupados según la fase del ciclo de vida a la que hagan referencia.</p> <p>A través de estas bases de datos, es posible asignar a cada entrada y salida recogida en el ICV una serie de datos que le aportarán la información sobre su impacto ambiental, los factores de caracterización, normalización, etc.</p>
Bases de datos de metodologías	<p>Son bases de datos con los datos que cada metodología de EICV necesita para que la herramienta que llevará a cabo el EICV haga los cálculos. Están formadas por los factores de caracterización, ponderación y demás datos que cada metodología de EICV necesita para llevar a cabo los cálculos de obtención de resultado.</p>

**Fuente:** Elaboración propia.

En la **Tabla N.º 8** se presenta una lista de base de datos de ACV, señalando la dirección electrónica donde se puede obtener más información de estos.

**Tabla N.º 8.** Base de Datos de ACV

Base de datos	Desarrollado por:	Descripción
CML-IA	CML - Department of Industrial Ecology	<p>Contiene factores de caracterización para la EICV y se lee fácilmente con el programa de software CMLCA (Leiden University, 2016). Disponible en: <a href="https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors">https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors</a></p>
U.S. LCI	NREL	<p>Proporciona una contabilidad desde la cuna hasta la tumba de los flujos de energía y material que entran y salen del entorno que están asociados con la producción de un material, componente o ensamblaje (Sphera Solutions GmbH, s.f.). Disponible en: <a href="http://www.gabi-software.com/spain/databases/us-lci-database/">http://www.gabi-software.com/spain/databases/us-lci-database/</a></p>

IBU.data	Institut Bauen und Umwelt	Promueve el uso de datos de Declaraciones Ambientales de Producto para calcular el ACV de componentes y edificios en herramientas de software, así como la evaluación posterior de impactos ambientales a nivel de edificio desde una perspectiva de sostenibilidad (Institut Bauen und Umwelt e.V., s.f.). Disponible en: <a href="https://ibu-epd.com/en/ibu-data-start/">https://ibu-epd.com/en/ibu-data-start/</a>
BRE	Green Guide	Proporciona una simple 'guía verde' sobre los impactos ambientales de los materiales de construcción. La clasificación ambiental se basa en el ACV, utilizando la metodología de perfiles ambientales de BRE 2008 (Green Guide, s.f.). Disponible en: <a href="https://www.bregroup.com/greenguide/page.jsp?id=2069">https://www.bregroup.com/greenguide/page.jsp?id=2069</a>
Ecoperfiles	PlasticsEurope	Contienen conjuntos de datos del inventario de ciclo de vida y declaraciones ambientales de producto sobre los plásticos (PlasticsEurope, s.f.). Disponible en: <a href="https://www.plasticseurope.org/es/resources/eco-profiles">https://www.plasticseurope.org/es/resources/eco-profiles</a>
Ecoinvent 3.6	Ecoinvent	Brinda datos de proceso documentados para miles de productos para la toma de decisiones sobre su impacto ambiental (Ecoinvent, s.f.). Disponible en: <a href="https://www.ecoinvent.org/database/database.html">https://www.ecoinvent.org/database/database.html</a>

**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.5.1. ¿Qué es el GLAD?

La red "Global LCA Data Access" (GLAD) tiene como objetivo lograr una mejor accesibilidad e interoperabilidad de los datos. La red está compuesta por bases de datos de ACV operadas de forma independiente, que brindan a los usuarios una interfaz para encontrar y acceder a conjuntos de datos de inventario de ciclo de vida de diferentes proveedores, entregados en el formato preferido del usuario (Global LCA Data Access, s.f.). Por lo tanto, GLAD respalda la evaluación del ciclo de vida mediante un acceso más fácil a fuentes de datos en todo el mundo, permitiendo a los usuarios convertir un conjunto de datos de su formato nativo en la base de datos de origen a otro formato conveniente para el usuario.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente actúa como Secretaría de la red GLAD a través de la Iniciativa del Ciclo de Vida, que alberga a GLAD. El gobierno de GLAD está controlado en última instancia por el Comité Directivo de la Iniciativa de Ciclo de Vida, que es asesorado técnicamente por el Grupo de Gestión Técnica de GLAD.

En el Perú, se ha implementado la página web “PERÚ LCA” (<http://perulca.com/>) con la información ambiental generada por el Grupo de Investigación de la Red Peruana Ciclo de Vida y Ecología Industrial (PELCAN) de la Pontificia Universidad Católica del Perú – PUCP, siendo financiado por el Gobierno Federal de Alemania (Ministerio del Ambiente, 2020). Esta página web tiene a disposición el acceso a base de datos, calculadora de impactos (input/output) y publicaciones relacionadas nacionales e internacionales.

**Figura N.º 7.** Portal Web PERÚ LCA



Fuente: <http://perulca.com/>

### 3. APLICACIÓN DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN LA INDUSTRIA

#### 3.1. Generalidades

A medida que aumenta la conciencia ambiental, las organizaciones han respondido proporcionando productos “verdes” y utilizando procesos “verdes”, para ello muchas

organizaciones han considerado una ventaja ir más allá del cumplimiento legal ambiental utilizando estrategias de prevención de la contaminación y sistemas de gestión ambiental que les permita mejorar su desempeño ambiental (Curran, 2004). Una de esas formas es el ACV que, mediante la evaluación integral de los impactos ambientales desde la adquisición de materias primas hasta la fabricación, el uso y la disposición utilizando una perspectiva de ciclo de vida, está siendo vista gradualmente por los administradores ambientales y los directivos de las organizaciones como un elemento importante para lograr la sostenibilidad ambiental. El uso de un enfoque holístico del ciclo de vida puede ayudar a la industria y al gobierno a evitar el intercambio no intencionado de un problema ambiental por otro.

En la economía moderna, las cadenas de valor internacionales tienen impactos ambientales globales (Hellweg & Mila i Canals, 2014), constituyéndose el ACV como una herramienta de evaluación viable que puede identificar puntos críticos ambientales en cadenas de valor complejas, pero es importante mencionar que la integridad en el alcance sufrirá por las simplificaciones e incertidumbres.

### **3.2. Sector Energía: Revisión de Literatura de Estudios ACV en Centrales Hidroeléctricas**

Los impactos ambientales generados por las centrales hidroeléctricas guardan relación con las características específicas de estas centrales (Botelho, Ferreira, Lima, Pinto, & Sousa, 2017), bajo este contexto, se ha aplicado el ACV para elaborar el perfil ambiental de las centrales hidroeléctricas:

- Evaluación de impacto para distintas capacidades de producción y tipo de planta (Pascale, Urmee, & Moore, 2011) (Flury & Frischknecht, 2012), y
- Evaluación de los impactos de construcción e implementación por miniplantas (Zhang, Karney, MacLean, & Feng, 2007) (Zhang, Andrews-Speed, & Perera, 2015a) (Zhang, Xu, & Li, 2015b).

En la **Tabla N.º 9** se presenta el resumen de 10 estudios de ACV sobre centrales hidroeléctricas (Verán-Leigh & Vázquez-Rowe, 2019) que se analizaron en función de un conjunto de detalles específicos del sitio y características técnicas relacionadas con el ACV.

**Tabla N.º 9.** Descripción y análisis de estudios de ACV para centrales hidroeléctricas en la literatura científica

Estudio	País	Categorías de Impactos	Principales hallazgos
de Miranda Ribeiro and Da Silva (2010)	Brasil	CC, CRA, R, UT, QA, T, O	La etapa de construcción domina la carga ambiental de las plantas evaluadas. Las principales cargas identificadas fueron el llenado de reservorios (emisiones de gases de efecto invernadero - GEI; uso del suelo), el ciclo de vida del acero (consumo de agua y energía; emisiones de CO, partículas y NOx), la producción de cemento (consumo de agua y energía) y el funcionamiento de la maquinaria. (consumo de diésel y emisiones de NOx).
Zhang, Karney, MacLean, & Feng (2007)	China	N.A.	Los grandes proyectos hidroeléctricos no son necesariamente menos favorables para el medio ambiente. Estos proyectos suelen funcionar mejor que los más pequeños en términos de eficiencia energética y emisiones de GEI relacionadas con la optimización del diseño estructural.
Suwanit and Gheewala (2011)	Tailandia	CC, CRA, R, QA, T	Las etapas construcción y transporte son las que generan mayores impactos en una mini-hidroeléctrica debido a la gran cantidad de materiales requeridos y la lejanía del lugar, respectivamente.



Estudio	País	Categorías de Impactos	Principales hallazgos
Pascale, Urmee, & Moore (2011)	Tailandia	CC, CRA, R, T	Los pequeños sistemas hidroeléctricos tienen un mayor impacto ambiental por kilovatio hora que los sistemas más grandes. Además, la línea de transmisión es el componente dominante en casi todas las categorías de impacto de ACV. Sin embargo, sigue consumiendo menos carbono que otras fuentes de electricidad.
Zhang, Andrews-Speed, & Perera (2015a) Zhang, Xu, & Li (2015b)	China	CC	Los resultados sugieren que las presas construidas con materiales locales son más responsables con el medio ambiente que una presa de hormigón, principalmente debido a la producción de cemento. Sin embargo, la operación y mantenimiento generan más emisiones debido a la generación de emisiones de GEI biogénicas y el mantenimiento de turbinas y generadores.
Bakken, Modahl, Engeland, Raadal, & Arnøy (2016)	Noruega	CRA	Los resultados sugieren que los sistemas ROR <sup>9</sup> consumen menos agua en comparación con las plantas con embalses. La evaporación durante la fase operativa fue el factor principal que contribuyó al consumo de agua.
Mao et al. (2017)	China	CC	Los resultados sugieren que un sistema de enfriamiento por evaporación es mejor que el método de enfriamiento por aire, no solo en rendimiento técnico sino también en beneficios ambientales.
Torres (2011)	Noruega	CC, CRA, R, UT, QA, T	Los impactos ambientales que ocurren a lo largo del ciclo de vida de una planta de almacenamiento por bombeo están determinados por el tipo de electricidad que alimenta el sistema. La energía eólica aparece como una opción adecuada.

Estudio	País	Categorías de Impactos	Principales hallazgos
Varun, Prakash, & Bhat (2010)	India	CC	Las emisiones de GEI de la generación de energía hidroeléctrica son más bajas en comparación con los tipos convencionales de generación de electricidad.
Rule, Worth, & Boyle (2009)	Nueva Zelanda	CC	En Nueva Zelanda, la energía mareomotriz es la tecnología más sostenible y la energía geotérmica es la menos importante, especialmente si se consideran las emisiones fugitivas.

**Nota.** <sup>a</sup> Las plantas hidroeléctricas “run-of-river” (ROR) son un tipo de planta de generación hidroeléctrica en la que se proporciona poco o ningún almacenamiento de agua (Raja & Srivastava, 2006). **Leyenda:** N.A. - No aplica; CC - Cambio climático; CRA, categorías relacionadas con el agua; R - Recursos; UT - Uso de la tierra; QA - Calidad del aire; T - Toxicidad; O - Otro. **Fuente:** Adaptado de Verán-Leigh & Vázquez-Rowe (2019).

### 3.3. Sector Manufactura: cuero tradicional y nuevo material

#### 3.3.1. Nuevo material para la fabricación de calzado

Cuando las organizaciones están por innovar sus productos incorporando materiales amigables con el ambiente, es de suma importancia efectuar la comparación con la solución original. Si el rendimiento es bueno, las organizaciones podrán utilizar estos beneficios ambientales dentro de sus campañas de marketing. Bajo este enfoque, la empresa Nike, fabricante de calzado, realizó un estudio de ACV para evaluar el rendimiento del cuero tradicional y el nuevo material Flyleather. Este nuevo material de calzado es fabricado a partir de restos de cuero, con características similares al cuero tradicional, y con una eficiencia de corte mejorada. Además, Nike esperaba que tuviera un buen desempeño ambiental en comparación con el cuero.

### **3.3.2. Estudio ACV del cuero tradicional y Flyleather**

Dado que Nike tenía la intención de utilizar declaraciones ambientales en sus actividades de marketing, se necesitó de análisis completos y transparentes para respaldarla, para ello Nike desarrolló inicialmente un estudio de ACV de detección para comprender la diferencia en el comportamiento ambiental del Flyleather y el cuero tradicional, determinándose que Flyleather tenía una huella ambiental menor que el cuero. Frente a ello, se desarrolló un estudio completo compatible con ISO 14040 e ISO 14044.

Para algunos aspectos críticos, como los factores de asignación en la granja, matadero y curtiembre, usaron los datos disponibles que estaban más cerca de un consenso, que en este caso es el resultado de la iniciativa Huella Ambiental. Además, como cualquier estudio de ACV, éste no estuvo libre de suposiciones, incertidumbres y limitaciones:

- El análisis de sensibilidad investigó la influencia de ciertos supuestos en las conclusiones, encontrando que los resultados eran válidos incluso si se toman diferentes decisiones de modelado.
- El análisis de incertidumbre mostró que la diferencia entre los dos materiales es estadísticamente significativa para la mayoría de las categorías de impacto analizadas.
- Se discutieron y documentaron todas las limitaciones como base para su comunicación.

Para lograr el cumplimiento de ISO 14040 e ISO 14044, el estudio pasó una revisión externa por parte de un panel de expertos en ACV y cuero.

### **3.3.3. Comunicación de beneficios ambientales**

A partir de los resultados favorables de los estudios de ACV sobre cuero y Flyleather, Nike comunicó los beneficios ambientales de Flyleather en su marketing en internet (**Figura N.º 8**) dirigida a una audiencia más amplia e influir en las decisiones de compra.

## Figura N.º 8. Publicidad en Internet de Nike Flyleather

Nike Flyleather

### ¿Qué es Nike Flyleather?

Es un material de piel diseñado con el mismo aspecto, tacto y olor que la piel natural. Está creado a partir de la combinación de al menos un 50 % de fibras de piel reciclada y fibras sintéticas mediante un innovador proceso a base de agua y con un impacto

Fuente: <https://www.nike.com/es/flyleather>

Fue beneficio para Nike comprender los puntos críticos y las oportunidades de mejora en Flyleather. Con esta información, pueden reducir aún más los impactos ambientales, haciendo de Flyleather un material aún más competitivo y respetuoso con el ambiente. Bhupesh Dua, director de tecnología de materiales de Nike) señaló que “Flyleather es el tejido confeccionado con piel más sostenible de Nike” (NIKE, s.f.).

### 3.4. Sector Construcción: Ladrillos Cerámicos Tradicionales y Ladrillos Cerámicos Modificados

#### 3.4.1. Descripción de los Ladrillos Cerámicos Modificados

Considerando que el ladrillo es usado para el cerramiento, la protección y el aislamiento térmico y acústico de las construcciones (De Hoz, Maldonado, & Vela, 2003), que para su fabricación se requiere de procesos de moldeo, secado y cocción de arcillas o tierras arcillosas que se caracterizan por presentar un alto consumo de recursos y energía, y por ende, que causan impactos significativos en el ambiente (Mingarro, 1996). Si bien la arcilla y el agua son sus principales materias primas; se evaluó la incorporación de combustibles sólidos recuperados (CSR) para la mejora del desempeño ambiental obteniendo “ladrillos modificados” (Tabla N.º 10).

**Tabla N.º 10.** Composiciones de la pasta cerámica para producir una tonelada de ladrillo cerámico cocido

Tipo de Ladrillo Arcilla		Composición (kg)*				
		Cascote de ladrillo cocido	CSR	Cenizas volantes	Agua	
Ladrillo cerámico tradicional cocido con carbón	Ladrillo 1	1161	132	-	-	77
Ladrillo cerámico tradicional cocido con CSR	Ladrillo 2	1161	132	-	-	77
Ladrillo cerámico con 7 % de CSR en la pasta cerámica y cocido con este mismo material	Ladrillo 3	1080	132	81	-	77
Ladrillo cerámico con 7 % de CSR y 20 % de cenizas volantes en la pasta cerámica, cocido con combustible sólido recuperado	Ladrillo 4	848	132	81	232	77

\* En este cálculo se estimó el agua en kg dado que al considerar su densidad (1,) no afecta el cálculo y favorece el balance de masa e inventario en el ACV. **Fuente:** Adaptado de Restrepo & Cadavid (2019)

### 3. 4. 2. Estudio ACV comparativo entre Ladrillos Cerámico Tradicional y Ladrillos Cerámicos Modificados

Se efectuó el ACV en el proceso productivo de ladrillos, aplicando los lineamientos de la norma ISO 14040: extracción y preparación de la arcilla, conformación, corte, secado, cocción y distribución del ladrillo a la obra. El estudio se enmarcó en el proyecto de Viviendas de Interés Prioritario Tirol III, Megaproyecto Pajarito, en la ciudad de Medellín, desarrollado por el Instituto Social de

Vivienda y Hábitat de Medellín (ISVIMED). Considerando que los ladrillos se producen en una ladrillera con horno tipo Hoffman, se estableció como unidad funcional 1 Kg de arcilla cocida para los ladrillos 1 y 2, y 0,92 Kg de arcilla cocida para los ladrillos 3 y 4.

**Figura N.º 9.** Imágenes del proyecto Tirol III (Medellín)



Fuente: <https://isvimed.gov.co/galeria-isvimed/>

En la **Tabla N.º 11**, se presenta las entradas y salidas que se identificaron en el ICV. Además, se identificó otros impactos asociados a la minería de arcillas.

Para la determinación del desempeño ambiental se utilizó las 11 categorías establecidas en la metodología Eco Indicador 99, con la base de datos Ecoinvent V2.2 y el software Simapro V7.2, según se presenta en la **Tabla N.º 12**.

**Tabla N.º 11.** Entradas y Salidas de un Proceso de Fabricación de Ladrillos

Elemento	Descripción
Entradas	Consumo de materiales y energía/combustibles.
Salidas	Emissiones de dióxido de carbono, material particulado, vapor de agua, dióxido de azufre, nitrógeno y oxígeno.

Fuente: Adaptado de Restrepo & Cadavid (2019)

**Tabla N.º 12.** Datos del desempeño ambiental de un ladrillo tradicional con ladrillos modificados a partir del uso de CSR en la pasta cerámica o como combustible

Categoría de impacto	Unidad	Ladrillo 1	Ladrillo 2	Ladrillo 3	Ladrillo 4
Total	Pt	0,020724	0,01975	0,01529	0,01488
Cancerígenos	Pt	0,000976	0,00025	0,00022	0,00020
Respirables orgánicos	Pt	0,000005	0,00000	0,00000	0,00000
Respirables inorgánicos	Pt	0,002764	0,00262	0,00192	0,00185
Cambio climático	Pt	0,005588	0,00478	0,00345	0,00359
Radiación	Pt	0,000003	0,00000	0,00000	0,00000
Capa de ozono	Pt	0,000000	0,00000	0,00000	0,00000
Eco-toxicidad	Pt	0,000366	0,00019	0,00018	0,00015
Acidificación/ Eutrofización	Pt	0,000379	0,00039	0,00029	0,00028
Usos del suelo	Pt	0,000621	0,00063	0,00035	0,00038
Minerales	Pt	0,000068	0,00007	0,00006	0,00006
Combustibles fósiles	Pt	0,009955	0,01081	0,00882	0,00835

**Fuente:** Tomado de Restrepo & Cadavid (2019)

Además, se identificó un impacto ambiental positivo asociado a la no emisión del metano por la disposición del CSR en rellenos sanitario, dado que se utiliza en el proceso de fabricación de ladrillos modificados como elemento constituyente de la pasta cerámica o como combustible alternativo empleado en los procesos de secado y cocción. Para evaluar este impacto positivo, se aplicó el modelo de decaimiento exponencial de primer orden requerido por la herramienta “Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site” (versión 2), para proyectos de Mecanismos de Desarrollo

Limpio, considerando una tasa de decaimiento del CSR de 0,03 y un CSR con 33,80 % de carbono orgánico (**Tabla N.º 13**).

**Tabla N.º 13.** Metano evitado por el uso de CSR en el proceso de fabricación de ladrillo como materia prima de la pasta cerámica o como combustible

Tipo de ladrillo	CSR empleado (Kg)	Metano evitado (Kg CH <sub>4</sub> /Kg CSR)
Ladrillo 1	-	-
Ladrillo 2	0,13657	4,201E-04
Ladrillo 3	0,21263	6,541E-04
Ladrillo 4	0,20515	6,320E-04

**Fuente:** Tomado de Restrepo & Cadavid (2019)

Conforme a los resultados de la **Tabla N.º 12** y la **Tabla N.º 13**, el estudio de ACV permitió medir su desempeño ambiental determinándose una reducción de impactos ambientales en aproximadamente el 25% con relación al ladrillo tradicional, cuando se emplean ladrillos modificados y procesados con combustibles renovables.

El estudio realizado por (Restrepo & Cadavid, 2019) también midió el desempeño energético y las externalidades , obteniendo los siguientes resultados:

- En el proceso constructivo en el proyecto evaluado, el desempeño energético de los ladrillos modificados genera una huella de carbono entre un 4 y un 9 % menos que los ladrillos tradicionales.
- El uso de CSR como combustible y como parte de la pasta cerámica contribuye a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono que ocurren en los procesos tradicionales de secado y cocción del ladrillo.
- Los ladrillos modificados generan un ahorro en el consumo de recursos naturales no renovables como la arcilla y el carbón.



### **3.5. Sector Agrícola: uso del gas de la tusa en la generación de electricidad<sup>8</sup>**

#### **3.5.1. Generación de electricidad a partir de residuos agrícolas**

Se han desarrollado estudios para la valorización energética de los residuos a través de su utilización como combustibles en tecnologías de conversión energética (Perpiña, et al, 2009, Turconi, et al, 2013, y Nguyen & Hermansen, 2015), en ese contexto es factible emplear los residuos de las cosechas agrícolas como fuente de energía; sin embargo, la estimación de su potencial energético, así como los impactos derivados de su utilización aún es una tarea pendiente (Aseffe, et al, 2019).

El maíz es un producto que se cultiva en casi todo el mundo y durante el proceso de cosecha se generan residuos tales como tusas<sup>9</sup>, hojas y tallos. La relación entre el peso de los residuos de la cosecha de maíz y el peso del producto varía entre 0,5 – 3,2 en varias partes del mundo: América del Norte y del Sur, Asia Oriental y Meridional y Europa Oriental (Aseffe, et al, 2019).

En Ecuador, se cultiva el maíz en diversas regiones, pero con siembras concentradas en las provincias de Los Ríos y Guayas (Coordinación general del Sistema de Información Nacional. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2017), con un rendimiento medio de producción de 4.72 TM/ha por cosecha, estimándose un volumen de tusas de 0,878 TM/ha por cosecha, considerando además que la superficie cosechada de maíz asciende a 196473 ha, se proyecta una producción de tusas de 172502 toneladas en cada cosecha del año.

En la literatura especializada se ha identificado estudios ACV sobre la gasificación de biomasa para generar

---

<sup>8</sup> Revisión del artículo titulado “Análisis de ciclo de vida del aprovechamiento energético de los residuos (tusa) de la cosecha de maíz (Zea mays) en la provincia de Los Ríos, Ecuador”, publicado en la Revista Tecnología Química.

<sup>9</sup> El término tusa se refiere al residuo producido luego de desgranar la mazorca del maíz.

electricidad, pero no se ha encontrado estudios referentes a la utilización de los residuos de la cosecha de maíz: tusa (Aseffe, et al, 2019).

### **3. 5. 2. Estudio ACV comparativo del uso del gas de la tusa en la generación de electricidad**

El alcance del estudio de ACV comprendió la evaluación de los potenciales impactos ambientales asociados a la producción de maíz sin (escenario 01) y con (escenario 02) aprovechamiento energético de la tusa. Se incluyó dentro del estudio las etapas de cultivo, secado natural, procesamiento industrial (desgranado de maíz).

- En el escenario 01 se consideró la incineración de la tusa a cielo abierto y el proceso de desgranado del maíz en una desgranadora con un consumo de 1,40 litros de gasolina/TN de maíz producido medido experimentalmente.
- En el escenario 02 se consideró la etapa de gasificación de la tusa de maíz y generación eléctrica mediante un motor de combustión interna (MCI) y se sustituyó la gasolina en el motor de la desgranadora por una fracción de gas combustible y la fracción de gas residual sería destinada a la generación de energía eléctrica y comercializada en la red eléctrica nacional.

La metodología utilizada para el ACV está soportada en la herramienta computacional SimaPro® v8 de PRÉ-Consultants, aplicando las siguientes categorías de impacto: Calentamiento global y consumo de energía no renovable.

El ACV comparativo de la cadena productiva de maíz considerando los dos escenarios presentó una reducción del índice específico de emisión de gases de efecto invernadero equivalente de 913 kg CO<sub>2</sub>-eq / t maíz en el primer escenario y 797 kg CO<sub>2</sub>-eq / t maíz en el segundo escenario. Además, se obtuvo una reducción de 1369 MJ/ t maíz en el consumo de energía no renovable en el segundo escenario respecto al primero. Esto significó

una reducción de emisiones de 12.7% motor de la desgranadora y producción de energía eléctrica excedente para comercialización en la red eléctrica nacional.

Este estudio demostró que utilizando la tusa en tecnologías de gasificación y generación de electricidad con MCI a gas, es posible, después de la sustitución de gasolina por gas de gasificación en el motor de la desgranadora de maíz, obtener un potencial energético de 1980 MJ/ha por cosecha y un índice de generación eléctrica equivalente de 115.20kWh/tonelada de maíz.

#### **4. CONCLUSIONES**

A nivel internacional, ISO ha contribuido con la publicación de normas internacionales que desarrollan la metodología del ACV. A nivel nacional, esta iniciativa ha sido adoptada en el Perú, publicándose normas técnicas peruanas sobre la materia. Además, el Ministerio del Ambiente, en coordinación con organismos de cooperación internacional y el Grupo de Investigación de la Red Peruana Ciclo de Vida y Ecología Industrial, ha puesto a disposición, en la página web "PERÚ LCA", el acceso a base de datos, calculadora de impactos (input/output) y publicaciones sobre estudios ACV.

Existe una amplia cantidad de estudios de aplicación del ACV, en sectores como por ejemplo: energía, manufactura, construcción y agrícola, en donde se presentan resultados sobre la reducción de los impactos ambientales, utilizándose para ello diversos métodos de ACV, bases de datos (públicos o de paga) y softwares. Estos resultados han permitido a las organizaciones a enfocar sus campañas publicitarias hacia productos sostenibles y a demostrar un desempeño ambiental favorable.

## REFERENCIAS

- Aseffe, M., Lesme, R., Oliva, L., Martínez, A., & Silva, E. (2019). Análisis de ciclo de vida del aprovechamiento energético de los residuos (tusa) de la cosecha de maíz (*Zea mays*) en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Tecnología Química*, 39(3), 655-672.
- Bakken, T., Modahl, I., Engeland, K., Raadal, H., & Arnøy, S. (2016). The life-cycle water footprint of two hydropower projects in Norway. *Journal of Cleaner Production*, 113(1), 241-250.
- Botelho, A., Ferreira, P., Lima, F., Pinto, L., & Sousa, S. (2017). Assessment of the environmental impacts associated with hydropower. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 896-904.
- Comité Técnico de Normalización de Gestión Ambiental. (2004). *La Normalización Técnica de la Gestión Ambiental en el Perú 1998 - 2003*. Lima: Auspiciado por CONAM-USAID-IPES.
- Congreso de la República del Perú. (2014). Ley N° 30224 - Ley que crea el Sistema Nacional para la Calidad y el Instituto Nacional de Calidad. Lima.
- Coordinación general del Sistema de Información Nacional. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2017). Boletín Situacional Maíz Duro Seco. Obtenido de <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2014/iboletin-maiz-duro-seco-2014-actualizado.pdf>
- Curran, M. (2004). The Status of Life Cycle Assessment as an Environmental Management Tool. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 23(4), 277-283.
- De Hoz, J., Maldonado, L., & Vela, F. (2003). *Diccionario de construcción*. San Sebastián: Editorial Nebra.

- De Miranda Ribeiro, F., & da Silva, G. (2010). Life-cycle inventory for hydroelectric generation: a Brazilian case study. *Journal of Cleaner Production*, 18(1), 44-54.
- Ecoinvent. (s.f.). The ecoinvent Database. Obtenido de <https://www.ecoinvent.org/database/database.html>
- Ernst & Young. (2007). *Competitiveness of the European Graphic Industry*. Bruselas: European Commission.
- European Commission. (s.f.). European Platform on Life Cycle Assessment. Obtenido de <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ilcd.html>
- Flury, K., & Frischknecht, R. (2012). *Life Cycle Inventories of Hydroelectric Power Generation*. Zurich: Öko-Institute e.V.
- Global LCA Data Access. (s.f.). The Global LCA Data Access network. Obtenido de <https://www.globallcadataaccess.org/about>
- Green Design Institute - Carnegie Mellon University. (s.f.). Economic Input-Output Life Cycle Assessment. Obtenido de <http://www.eiolca.net/Method/index.html>
- Green Guide. (s.f.). Green Guide to Specification. Obtenido de <https://www.bregroup.com/greenguide/podpage.jsp?id=2126>
- Hellweg, S., & Mila i Canals, L. (2014). Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. *Science*, 344(6188), 1109-1113.
- Ihobe. (2009). *Análisis del Ciclo de Vida y Huella del Carbono - Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto*. Bilbao: Ihobe, Sociedad Pública de Gestión.
- IMPACT World+. (s.f.). IMPACT World+ Framework. Obtenido de <http://www.impactworldplus.org/en/methodology.php>

- INACAL. (s.f.). Comités Técnicos de Normalización. Obtenido de <https://www.inacal.gob.pe/normalizacion/categoria/comites-tecnicos-de-normalizacion>
- INACAL. (s.f.). Normas Técnicas Peruanas. Obtenido de <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (s.f.). IBU.data. Obtenido de <https://ibu-epd.com/en/ibu-data-start/>
- Institute of Environmental Sciences - Leiden University. (s.f.). New Dutch LCA guide. Obtenido de <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-projects/science/cml-new-dutch-lca-guide>
- ISO. (2006). Norma ISO 14040:2006 Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia. Ginebra: ISO.
- ISO. (2015a). Norma ISO 14001:2015 Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. Ginebra, Suiza: ISO.
- ISO. (2015b). Norma ISO 9000:2015 Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario. Ginebra, Suiza.
- ISO. (s.f.). Standards catalogue - ICS 13 - 13.020 - 13.020.60 - Product life-cycles. Obtenido de <https://www.iso.org/ics/13.020.60/x/p/1/u/0/w/0/d/0>
- Kipphan, H. (2001). Handbook of Print Media. Berlin: Springer <https://doi.org/10.1007/978-3-540-29900-4>.
- Küng, L. (2008). Strategic Management in the Media: From Theory to Practice. SAGE Publications Ltd <http://dx.doi.org/10.4135/9781446280003>.
- Leiden University. (2016). CML-IA Characterisation Factors. Obtenido de <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>

- Lozano, A. (2014). Tesis Doctoral Análisis del ciclo de vida como instrumento de desarrollo de la ecología industrial: Aplicación al proceso de impresión de un periódico. Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Mao, G., Wang, S., Teng, Q., Zuo, J., Tan, X., Wang, H., & Liu, Z. (2017). The sustainable future of hydropower: A critical analysis of cooling units via the Theory of Inventive Problem Solving and Life Cycle Assessment methods. *Journal of Cleaner Production*, 142(4), 2446-2453.
- Martinez de Anguita, P. (2004). Economía ambiental y ordenación del territorio. *Ecosistemas*, 13(1), 87-93.
- Meire, C. (2016). Tesis de Master: Análisis de Ciclo de Vida de un sistema de aislamiento térmico por el exterior "State" que mejora el rendimiento térmico de la envolvente del edificio. Coruña: Universidade da Coruña.
- Mingarro, F. (1996). Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico. Madrid: Editorial Complutense.
- Ministerio del Ambiente. (2020). Perú LCA. (MINAM) Obtenido de <http://perulca.com/>
- Nguyen, T., & Hermansen, J. (2015). Life cycle environmental performance of miscanthus gasification versus other technologies for electricity production. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 9(<https://doi.org/10.1016/j.seta.2014.12.005>), 81-94.
- NIKE. (s.f.). Nike Flyleather. Obtenido de <https://www.nike.com/es/flyleather>
- Pascale, A., Urmee, T., & Moore, A. (2011). Life cycle assessment of a community hydroelectric power system in rural Thailand. *Renewable Energy*, 36(11), 2799-2808.

- Perpiña, C., Alfonso, D., Pérez-Navarro, A., Peñalvo, E., Vargas, C., & Cárdenas, R. (2009). Methodology based on Geographic Information Systems for biomass logistics and transport optimisation. *Renewable Energy*, 34(doi:10.1016/j.renene.2008.05.047), 555–565.
- Picard, R. (2004). *Strategic Responses to Media Market Changes*. Jönköping: Jönköping International Business School.
- PlasticsEurope. (s.f.). Eco-Perfiles. Obtenido de <https://www.plasticseurope.org/es/resources/eco-profiles>
- PRé Sustainability. (2012). ReCiPe. Obtenido de <https://pre-sustainability.com/articles/recipe/>
- PRé Sustainability. (2013a). Eco-indicator 95 Manuals. Obtenido de <https://pre-sustainability.com/articles/eco-indicator-95-manuals/>
- PRé Sustainability. (2013b). Eco-indicator 99 | manuals. Obtenido de <https://pre-sustainability.com/articles/eco-indicator-99-manuals/>
- PRé Sustainability. (2019). Comparative LCA study of traditional leather and Flyleather. Obtenido de <https://pre-sustainability.com/customer-cases/comparative-lca-study-of-traditional-leather-and-flyleather/>
- Raja, A., & Srivastava, A. (2006). *Power Plant Engineering*. New Delhi: New Age International.
- Restrepo, G., & Cadavid, C. (2019). Mejora del desempeño ambiental y energético de la vivienda de interés prioritario en Medellín con el uso de ladrillos cerámicos modificados. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(35), 33-49.
- Rule, B., Worth, Z., & Boyle, C. (2009). Comparison of Life Cycle Carbon Dioxide Emissions and Embodied Energy in Four Renewable Electricity Generation Technologies in New Zealand. *Environmental Science & Technology*, 43(16), 6406-6413.



- Smyth, S. (2002). Introduction to Digital Printing. Pira International ISBN: 00078934.
- Sphera Solutions GmbH. (s.f.). U.S. LCI databases. Obtenido de <http://www.gabi-software.com/spain/databases/us-lci-database/>
- Suwanit, W., & Gheewala, S. (2011). Life cycle assessment of mini-hydropower plants in Thailand. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(9), 849-858.
- Torres, O. (2011). Master in Industrial Ecology: Life cycle assessment of a pumped storage power plant. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- Turconi, R., Boldrin, A., & Astrup, T. (2013). Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview,. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28(<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.013>), 555-565.
- Varun, Prakash, R., & Bhat, I. (2010). Life Cycle Energy and GHG Analysis of Hydroelectric Power Development in India. *International Journal of Green Energy*, 7(4), 361-375.
- Verán-Leigh, D., & Vázquez-Rowe, I. (2019). Life cycle assessment of run-of-river hydropower plants in the Peruvian Andes: a policy support perspective. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24, 1376–1395.
- Viluksela, P., Kariniemi, M., & Nors, M. (2010). Environmental performance of digital printing – Literature study. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland Ltd <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2010/T2538.pdf>.
- Zhang, J., Xu, L., & Li, X. (2015b). Review on the externalities of hydropower: a comparison between large and small hydropower projects in Tibet based on the CO2 equivalent. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 50, 176-185.

- Zhang, Q., Karney, B., MacLean, H., & Feng, J. (2007). Life-Cycle Inventory of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions for Two Hydropower Projects in China. *Journal of Infrastructure Systems*, 13(4), 271-279.
- Zhang, S., Andrews-Speed, P., & Perera, P. (2015a). The evolving policy regime for pumped storage hydroelectricity in China: A key support for low-carbon energy. *Applied Energy*, 150, 15-2



# SOLUCIONES PARA MITIGAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIONES

Luiggi Cruz Caldas <sup>o</sup>  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

---

## Resumen

El aumento de la población de a nivel mundial trae como consecuencia la generación de residuos en la construcción y demoliciones (en adelante RCD). Las personas cuentan con diferentes tipos de necesidades, por ejemplo, la comida, salud, vestimenta y vivienda. El ser humano diseña y construye fábricas de manufactura, centros médicos y edificaciones que permiten satisfacer sus necesidades. Esto implica la generación de RCD los cuales son dispuestos en botaderos o según las motivaciones del sector privado son aprovechados para darle un nuevo uso.

El presente documento está estructurado en dos partes. La primera explica las características, el impacto y gestión de los RCD; mientras que la segunda parte detalla soluciones para mitigar los impactos ambientales de los RCD en algunos países de España, México, Ecuador, Colombia y Perú. Se concluye que es posible la aplicación de los RCD en diferentes insumos para la construcción y es necesario considerar dos elementos: la caracterización de los RCD y el marco legal que motive a los empresarios en invertir en esta industria.

**Palabras Clave:** Residuos de construcción y demoliciones, impacto ambiental, Soluciones ambientales, RCD

## Abstract

The increase in the population of the world brings as a consequence the generation of Waste in Construction and Demolitions (hereinafter WCD). People have different types of needs, for example, food, clothing, and shelter. Human beings design and build manufacturing factories, medical centers, and buildings that satisfy their needs. This implies the generation of WCD which are disposed of in landfills or, according to the private sector's motivations, are used to give it a new use. The document has been structured in two parts. The first part explains the characteristics, impact and management of the WCD and the second part details solutions to mitigate the environmental impacts of the WCD in some countries of Spain, Mexico, Ecuador, Colombia and Peru. It is concluded that it is possible to apply the WCD in different inputs for construction and it is necessary to consider two elements: The characterization of the WCD and the legal framework that motivates entrepreneurs to invest in this industry.

**Keywords:** Construction and demolition waste, environmental impact, Environmental solutions, CDW

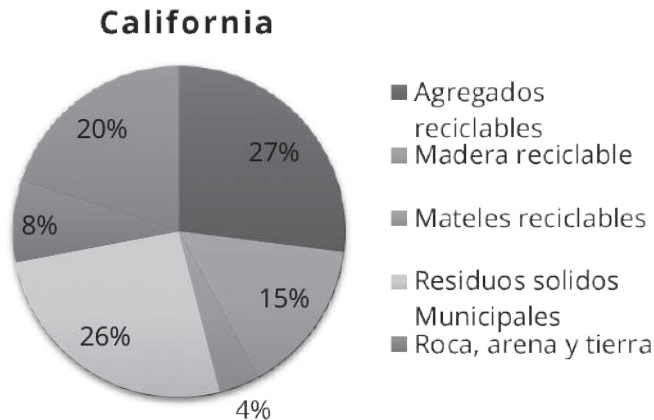
# 1. SOLUCIONES PARA MITIGAR LOS IMPACTOS DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DE CONSTRUCCIÓN

## 1.1. Caracterización de los residuos sólidos de construcción y demolición

La caracterización de los residuos es un proceso que permite estimar e identificar ciertos valores como el volumen, el peso o proporciones. Para proponer soluciones para mitigar impactos de los RCD, es necesario caracterizar estos residuos. En cada país la distribución y el tipo de residuo puede variar según las características de la obra, su tamaño y ubicación (Garay, 2018).

En la Unión Europea, se tiene un 33% de residuos generados por las actividades de construcción (Díaz Álvarez, 2020). Mientras que en el estado de California (USA) la caracterización de los residuos se clasifica en 6 categorías: agregados reciclables; Residuos sólidos municipales; roca, arena y tierra; madera reciclable, materiales reciclables; y otros materiales recuperables; ocupando el primer puesto con 27% los agregados reciclables (Ver figura 1)

**Figura N.º 1.** Estadística de residuos en California.



**Fuente:** Tomado de Garay (2018)

En Colombia, la clasificación de los RCD tiene dos categorías: los aprovechables y los no aprovechables. Entre los residuos aprovechables están los residuos comunes inertes mezclados, inertes de material fino, no inertes, residuos metálicos y orgánicos, mientras que los residuos no aprovechables se cuentan con los residuos contaminantes. Cada uno de sus componentes están explicados en la tabla 1. En Colombia se generan en mayor porcentaje los de residuos cerámicos (54%) y residuos por hormigón (12%) según lo establecido en la figura 2 (Rocha, 2020).

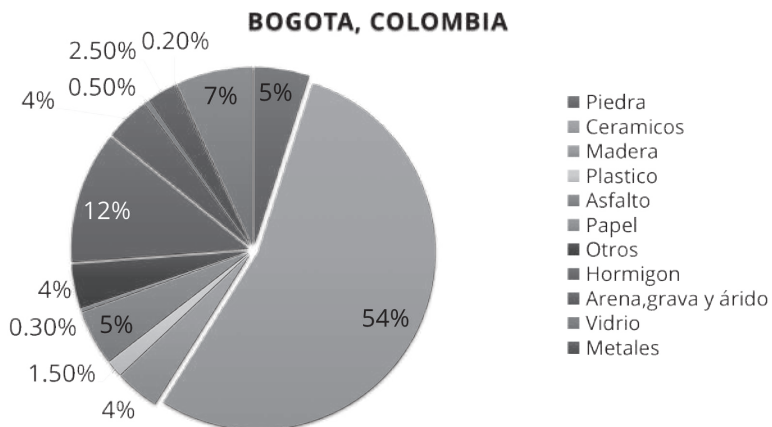
**Tabla N.º 1 .** Clasificación de los residuos de construcción y demolición (RCD)

CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)			
CATEGORIA	GRUPO	CLASE	COMPONENTES
RCD APROVECHABLES	I- Residuos comunes inertes mezclados	1. Residuos pétreos	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosín, mortero y materiales inertes que no sobrepasen el tamiz #200 de granulometría
	II- Residuos comunes inertes de material fino	1. Residuos finos no expansivos	Arcillas (Caolín), limos y residuos inertes, poco o no plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz #200 de granulometría
		2. Residuos finos expansivos	Arcillas (montmorillonitas) y todos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz #200 de granulometría
	III- Residuos comunes no inertes	1. Residuos no pétreos	Plásticos, PVC, maderas, cartones, papel, siliconas, vidrias, cauchos.

CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)			
CATEGORIA	GRUPO	CLASE	COMPONENTES
RCD NO APROVECHABLES	IV- Residuos metálicos	1. Residuos de carácter metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño y zinc.
		2. Residuos de cerámicos	Residuos de tierra negra
	V- Residuos orgánicos	1. Residuos de pedones	Residuos de tierra negra
		2. Residuos de cespedones	Residuos vegetales y otras especies bióticas.
	VI- Residuos contaminantes	1. Residuos peligrosos	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, asfaltos, resinas, plastificantes, tintas, betunes, barnices, tejas de asbesto, escorias, plomo, cenizas, volantes, luminarias convencionales y fluorescentes, desechos explosivos y otros elementos peligrosos.
		2. Residuos especiales	Poliestireno - Icopor, cartón - yeso (driwall), lodos residuales de compuestos.

Fuente: Tomado de Rocha (2020)

Figura N.º 2. Estadística de RCD en Bogotá - Colombia



Fuente: Tomado de Garay (2018)

Mientras tanto, en Cochabamba (Bolivia) en 2016 se realizó un estudio de caracterización de residuos expresados en volumen y masa. Concluyendo que se generan más del 72% de generación de tierra de excavación. Ver tabla 2 (Vargas, 2016).

**Tabla N.º 2.** Caracterización de desechos de construcción % masa y en % de volumen en la ciudad de Cochabamba.

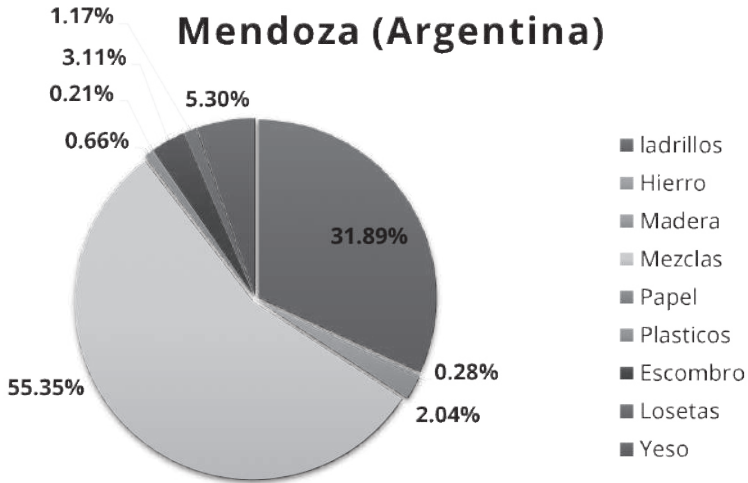
Materia Prima	Total, Residuo (kg)	Composición (% Masa)	Total Residuo m3	Composición (% Volumen)
Tierra excavación	30 360,00	72,71	13,80	68,35
Arena	6 818,57	16,33	2,53	12,53
Grava	1 5171,60	3,76	0,60	2,97
Ladrillos 6H	1 243,90	2,98	1,67	8,27
Cemento	606,77	1,45	0,20	0,99
Yeso	604,51	1,45	0,45	2,23
Teja cerámica	423,90	1,02	0,78	3,86
Cerámica 32x32	107,05	0,26	0,15	0,74
Clavos	16,70	0,04	0,01	0,05
Alambre	3,13	0,01	N.d	N.d.
<b>TOTAL</b>	<b>41 756,13</b>	<b>100,00</b>	<b>20,19</b>	<b>100,00</b>

**Fuente:** Tomado de Vargas (2016)

La caracterización de los residuos en Mendoza (Argentina), supera el 53% en generación de residuos de mezclas de concreto (Ver figura 3) y segundo lugar los residuos por ladrillos. Brasil (Candelaria) se tienen una generación mayor al 86% en generación de cerámicos según lo mostrado en la figura 4 (Garay, 2018).

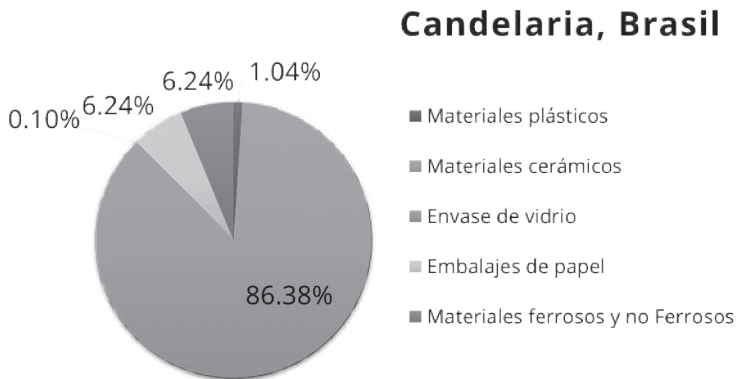


**Figura N.º 3.** Estadística de RCD en Mendoza - Argentina



**Fuente:** Tomado de Garay (2018)

**Figura N.º 4.** Estadística de RCD en Candelaria- Brasil.



**Fuente:** Tomado de Garay (2018)

Después de revisar diferentes antecedentes se concluye que la mayor cantidad de RCD generados en diversos países son el hormigón y el ladrillo. En el siguiente capítulo se detallarán soluciones para mitigar el impacto producido por este tipo de RCD.

## **1.2. Gestión y Manejo de residuos sólidos en la construcción**

Para México, desde el 2007 la generación de los RCD asciende a 3000 toneladas por día. Desde julio 2006 cuentan con una norma ambiental NADF-007 RNAT-2004 que tiene por objetivo establecer la clasificación y especificación del manejo de RCD. En la presente norma ambiental se solicita a los empresarios sustituir por lo menos un 25% de materiales vírgenes por materiales reciclados; esto motiva al sector empresarial en buscar alternativas para mitigar impactos ambientales por RCD (Rivera, 2007)

En 2018, en Colombia, la gestión de RCD en la ciudad de Cali (PGIRS2015-2027) participan las municipalidades, el gremio de transportadores de residuos informales, las familias de los lugares aledaños y partes interesadas pertinentes. Sin embargo, las principales dificultades para la aplicación son las siguientes: bajos incentivos financieros, falta de capacitación, cultura y toma de conciencia. El aprovechamiento de RCD para Colombia es del 2% mientras que para España es del 24% (Sánchez, 2019).

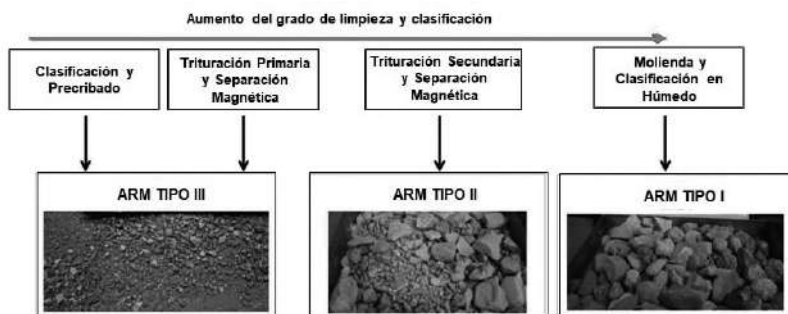
En Perú, el incremento de construcciones en la ciudad de Lima ha producido daños ambientales, en especial en la demolición de edificaciones, aunque existe un reglamento para la gestión y manejo de residuos sólidos DS. 003-2013-VIVIENDA en muchas ocasiones los RCD son dispuestos en botaderos no controlados o en espacios públicos produciendo impactos ambientales negativos al suelo, aire y agua (Vargas, 2020). En Lima se producen 19 000 toneladas de residuos de demolición aproximadamente 30 000 metros cúbicos en volumen (Leon, 2017).

## 2. ESTUDIOS DE SOLUCIONES PARA MITIGAR LOS IMPACTOS DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DE CONSTRUCCIÓN

### 2.1. Estudio de soluciones para mitigar los impactos de los residuos sólidos de construcción en España.

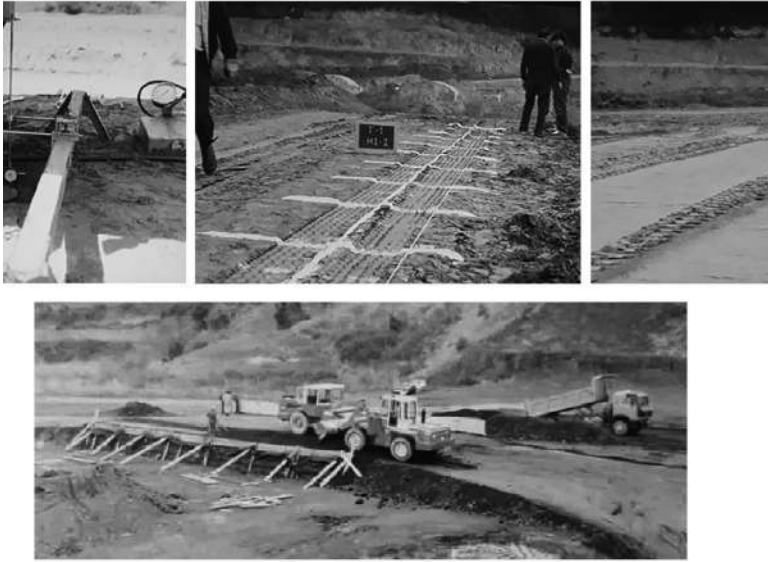
En el laboratorio de Geotecnia del CEDEX (España) se realizó el aprovechamiento de residuos en terraplenes de carreteras hasta la fecha. Se trabajó la caracterización geotécnica de un total de 34 muestras, según el tipo de Arido Reciclado Mixto (ARM) según lo especificado en la norma UNE EN 12620 (Áridos para hormigón), según lo establecido en la figura 5 y figura 6. Obteniendo resultados favorables en las pruebas de ensayo de tanque (NLT 326), ensayo de lixiviación por volteo (UNE EN 12457) y ensayo de columna (prEN 14405) (De Santayana, 2020).

**Figura N.º 5.** Tipos de áridos reciclados mixtos (ARM) considerados en el estudio



Fuente: Tomado de Santayana (2020)

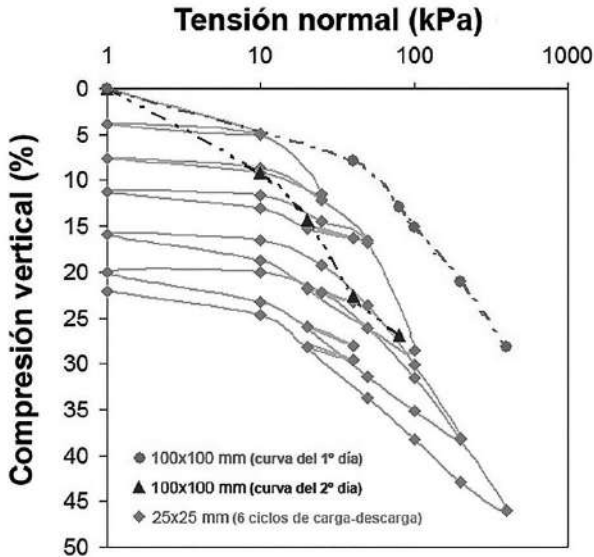
**Figura N.º 6.** Terraplenes experimentales



**Fuente:** Tomado de Santayana (2020)

Se obtuvieron resultados de ensayos de deformabilidad edométrica (ver figura 7), según el ensayo de NFUt de tamaño nominales de 25 y de 100 mm, aplicando 5 ciclos de carga y descarga, con presiones máximas de 28, 55, 110, 220 y 440 kPa. Los resultados fueron satisfactorios para porcentajes de 30 y 45 % de deformación vertical obteniendo una tensión normal de hasta 400 kPa según se muestra en la figura 7. (De Santayana, 2020).

**Figura N.º 7.** Curvas edométricas obtenidas en ensayos sobre muestras de NFUt en la caja de 1 m3 del CEDEX.



Fuente: Tomado de Santayana (2020)

## 2. 2. Estudio de soluciones para mitigar los impactos de los residuos sólidos de construcción en Colombia.

En Colombia se realizó bloques de concreto con una mezcla del 25%, 50% y 70% de material grueso reciclado (RCD) cuyos insumos son: Cemento, arena de río, grava 3/8", grava RCD y agua. Según la distribución de las tablas 3, 4 y 5 (Albanés, 2020).

**Tabla N.º 3.** Mezcla de concreto con 25% de material grueso reciclado

INSUMO	CANTIDAD	UNIDAD
Cemento	9	kg
Arena de río	45	kg
Grava 3/8"	19	kg
Grava RCD	6.37	kg
Agua	0.00798	m3

Fuente: Tomado de Albanés (2020).

**Tabla N.º 4.** Mezcla de concreto con 50% de material grueso reciclado

INSUMO	CANTIDAD	UNIDAD
Cemento	9	kg
Arena de río	45	kg
Grava 3/8"	13	kg
Grava RCD	12.75	kg
Agua	0.00798	m3

**Fuente:** Tomado de Albanés (2020).

**Tabla N.º 5.** Mezcla de concreto con 70% de material grueso reciclado

INSUMO	CANTIDAD	UNIDAD
Cemento	9	kg
Arena de río	45	kg
Grava 3/8"	8	kg
Grava RCD	18	kg
Agua	0.00798	m3

**Fuente:** Tomado de Albanés (2020).

Después de fabricarse los bloques de concreto (**Figura N.º 8**) pasan por un proceso de curado y son fallados a 7, 14 y 28 días de edad obtienen buenos resultados en la mezcla de concretos reciclados al 25% de RCP con una resistencia de 10.5 MPa una densidad 2713 Kg/m3 y una Absorción de agua de 9. Cumpliendo con la Norma NTC 4076 (**Tabla 6**).

**Figura N.º 8.** Unidades de mampostería de concreto limpias previas de pasar ensayo de laboratorio



**Fuente:** Tomado de Albanés (2020).

**Tabla N.º 6.** Resultados de laboratorio

<b>MEZCLAS DE CONCRETO CON RCD RECICLADO</b>		
25%	50%	70%
Resistencia a la compresión a los 28 días (RC28) evaluada sobre el área neta prometido (ANP)		
10.5	5.5	4.6
Pesos (densidad) del concreto		
2713	2566	2600
Absorción de agua (Aa) %		
9	9.55	9.55

**Fuente:** Tomado de Albanés (2020).

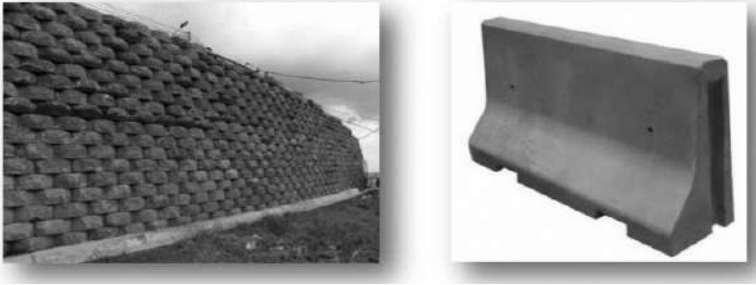
Según Sánchez (2019), otro producto es el mortero de relleno a partir de RCD investigación realizada por la Universidad de MAECOL SAS. El proceso inicia con la recolección de los RCD hasta convertirlos en productos ecológicos como relleno en polvo, estucos en masilla plástica, pegantes de cerámica, porcelanato y Premoldeados (**Figura N.º 9** y **Figura N.º 10**)

**Figura N.º 9.** Productos fabricados por MAECOL



**Fuente:** Tomado de Sanchez (2019).

**Figura N.º 10.** Productos fabricados por Premoldeados



**Fuente:** Tomado de Hernández, Botero & Arango (2015)

En Colombia, para la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC) con adición de RCD, se utilizaron 6 muestras con diferentes dosificaciones de RCD, arena y tierra. Se tomaron 3 muestras de bloque convencional (BC) y 3 muestras con bloque con RCD triturado (BCRCD). Las dosificaciones de estas muestras se visualizan en la tabla 7. (Hernández, Botero & Arango, 2015).

**Tabla N.º 7.** Dosificaciones de muestras

Muestra	Composición			
	Tierra	Cemento	Arena	RCD
BC1	45%	5%	50%	0%
BC2	35%	5%	60%	0%
BC3	25%	5%	70%	0%
BCECD1	45%	5%	0%	50%
BCECD2	35%	5%	0%	60%
BCECD3	25%	5%	0%	70%

**Fuente:** Tomado de Hernández, Botero & Arango (2015)

Las pruebas de calidad que pasaron estos 6 tipos de dosificación fueron: ensayos de resistencia a la compresión, ensayos de capilaridad y ensayos de abrasión. Las muestras BCRCD3 con dosificación de 70% de RCD y 25% de tierra obtuvieron una resistencia mayor a 5MPa (Ver tabla 8). Las



muestras BCRC2 con dosificación 60% de RCD y 35% de tierra obtuvieron un coeficiente de capilaridad mayor a 66 (Ver tabla 9). La muestra BCRC2 y BCRC3 obtuvieron un coeficiente de abrasión mayor a 31 cm<sup>2</sup>/g. (Hernández, Botero & Arango, 2015).

**Tabla N.º 8.** Resultados ensayos de resistencia a la compresión

ID	Muestra	Composición				Resistencia Mpa
		Tierra	Cemento	Arena	RCD	
1	BC1	45%	5%	50%	0%	1.99%
2	BC1	45%	5%	50%	0%	2.40%
3	BC1	45%	5%	50%	0%	2.45%
4	BC1	45%	5%	50%	0%	1.78%
9	BC2	35%	5%	60%	0%	2.24%
10	BC2	35%	5%	60%	0%	2.88%
11	BC2	35%	5%	60%	0%	3.52%
12	BC2	35%	5%	60%	0%	2.75%
17	BC3	25%	5%	70%	0%	3.23%
18	BC3	25%	5%	70%	0%	2.74%
19	BC3	25%	5%	70%	0%	2.84%
20	BC3	25%	5%	70%	0%	2.32%
25	BCECD1	45%	5%	0%	50%	2.93%
26	BCECD1	45%	5%	0%	50%	3.69%
27	BCECD1	45%	5%	0%	50%	3.23%
28	BCECD1	45%	5%	0%	50%	3.15%
33	BCECD2	35%	5%	0%	60%	2.91%
34	BCECD2	35%	5%	0%	60%	4.24%
35	BCECD2	35%	5%	0%	60%	3.59%
36	BCECD2	35%	5%	0%	60%	3.54%
41	BCECD3	25%	5%	0%	70%	5.50%

ID	Muestra	Composición				Resistencia Mpa
		Tierra	Cemento	Arena	RCD	
42	BCECD3	25%	5%	0%	70%	5.74%
43	BCECD3	25%	5%	0%	70%	5.43%
44	BCECD3	25%	5%	0%	70%	4.68%

**Fuente:** Tomado de Hernández, Botero & Arango (2015)

**Tabla N.º 9.** Resultados ensayo de capilaridad

Id	Muestra	Composición				Coeficiente de capilaridad	Dictamen
		Tierra	Cemento	Arena	RCD		
5	BC1	45%	5%	50%	0%	22.47	Poco capilar
6	BC1	45%	5%	50%	0%	72.77	.....
13	BC2	35%	5%	60%	0%	23.43	Poco capilar
14	BC2	35%	5%	60%	0%	24.21	Poco capilar
21	BC3	25%	5%	70%	0%	59.57	.....
22	BC3	25%	5%	70%	0%	44.58	.....
29	BCECD1	45%	5%	0%	50%	38.47	Poco capilar
30	BCECD1	45%	5%	0%	50%	47.94	.....
37	BCECD2	35%	5%	0%	60%	66.72	.....
38	BCECD2	35%	5%	0%	60%	61.42	.....
45	BCECD3	25%	5%	0%	70%	31.62	Poco capilar
46	BCECD3	25%	5%	0%	70%	34.58	Poco capilar

**Fuente:** Tomado de Hernández, Botero & Arango (2015)

Se concluye que la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC) tienen mejores características con un porcentaje del 70% de RCD, donde se demuestra que a mayor cantidad de RCD en la composición de los bloques, mejores características de resistencia, capilaridad y abrasión tiene. (Hernandez, Botero & Arango, 2015).

### 1.3. Estudio de soluciones para mitigar los impactos de los residuos sólidos de construcción en México

En la ciudad de México se reaprovecha los RCD, con material grava reciclada con tamaño de partícula de  $\frac{3}{4}$ " según la norma mexicana NMX-C-164-ONNCCE-2014. Se realizó 3 diseños de experimentos (A<sup>1</sup>, B<sup>2</sup> y C<sup>3</sup>) con el objetivo de obtener un concreto con resistencia mínima de 150 kg/cm<sup>2</sup>. Los resultados de las probetas a 7, 14 y 28 días se explican en la tabla 10 (Díaz Álvarez, 2020).

**Tabla N.º 10.** Tabla comparativa de resistencias

CÓDIGO	PROPORCIÓN	COMPRESIÓN		
		(I) 7 días	(II) 14 días	(III) 28 días
A.- Cemento, cal, arena reciclada, grava reciclada.	1/2 - 1/2 - 6 - 7	91.2 kg/cm <sup>2</sup>	135.2 kg/cm <sup>2</sup>	152 kg/cm <sup>2</sup>
B.- Cemento, arena virgen, grava reciclada	1-6-7.	98.58 kg/cm <sup>2</sup>	146.28 kg/cm <sup>2</sup>	159 kg/cm <sup>2</sup>
C.- Cemento, arena reciclada y grava reciclada	1-6-7.	95.77 kg/cm <sup>2</sup>	141.3 kg/cm <sup>2</sup>	157 kg/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** Tomado de Díaz Álvarez (2020)

1 Cemento - cal - arena reciclada - grava reciclada (proporción  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{1}{2}$  - 6 - 7)

2 Cemento - arena virgen - grava reciclada (proporción 1 - 6 - 7)

3 Cemento - arena reciclada - grava reciclada (proporción 1 - 6 - 7)

El cemento usado para esta investigación fue de marca "Tolteca" la formulación para el diseño de mezcla en condiciones normales se visualiza en la figura 11. Se concluye que el concreto derivado de los RCD es viable para la fabricación de  $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$  (Díaz Álvarez, 2020).

Figura N.º 11. Proporciones de cemento Tolteca

**DOSIFICACIÓN**

La presente tabla es meramente informativa y puede variar según las consideraciones establecidas en la parte inferior de ésta.		19L	19L	19L	RESISTENCIA f'c
USOS	CEMENTO	GRAVA <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	ARENA	AGUA	
Muros y pisos		8,5	8	3	100 kg/cm <sup>2</sup>
Trabes y dalas		6,5	5,5	2,5	150 kg/cm <sup>2</sup>
Losas y zapatas		6	4	2	200 kg/cm <sup>2</sup>
Columnas y losas especiales		5	3,5	1,5	250 kg/cm <sup>2</sup>
Concretos de alta resistencia		4,5	2,5	1,5	300 kg/cm <sup>2</sup>

Las proporciones descritas pueden cambiar en cada región por la calidad del agua y de los agregados utilizados.

Fuente: Tomado de Díaz Álvarez (2020)

#### 1.4. Estudio de soluciones para mitigar los impactos de los residuos sólidos de construcción en Ecuador

En 2019 en Ecuador se tiene estudios sobre el aprovechamiento de pavimento asfáltico envejecido, obtenido del mantenimiento de las carreteras. Se adicionaron elastómeros en las concentraciones del 4%, 8% y 12% obteniendo óptimos resultados para aplicarlos como mezclas asfálticas modificadas. Los resultados de aplicación influyen sobre 6 variables: Densidad bulk, porcentaje de vacíos en la mezcla, estabilidad, flujo, vacíos en agregados minerales, vacíos en rellenos de asfaltos los cuales se detallan en las siguientes tablas 11 y 12 (Schettini,2019).

**Tabla N.º 11.** Densidad bulk, porcentaje de vacíos en la mezcla y estabilidad. Diseño de mezclas asfálticas integrando residuos sólidos de la industria automovilística (elastómero) y de vías (pavimento asfáltico envejecido)

Tratamientos	Densidad bulk	% de vacíos en la mezcla	Estabilidad
Factor G	NS	**	**
G1 granulometría fina	2282,17	4,26% (a)	2849,09 lb (a)
G2 granulometría media	2274,67	4,58% (ab)	2880,86 lb (a)
G3 granulometría gruesa	2272,50	5,00% (b)	2640,34 lb (b)
Factor E	NS	NS	**
E1 4% elastómero	2270,11	4,73%	2785,78 lb (b)
E2 8% elastómero	2274,89	4,60%	2883,15 lb (b)
E3 12% elastómero	2276,56	4,46%	3018,59 lb (a)
E4 16% elastómero	2284,22	4,64%	2472,87 lb (c)
Interacción	NS	NS	**
G1E1	2282	4,15%	2890,00 lb (ab)
G1E2	2284,67	4,27%	2953,57 lb (ab)
G1E3	2279,33	4,49%	2042,36 lb (a)
G1E4	2282,67	4,13%	2510,42 lb (de)
G2E1	2267,33	5,00%	2870,94 lb (abc)
G2E2	2275,67	4,42%	2935,18 lb (ab)
G2E3	2281,67	4,18%	3119,73 lb (a)
G2E4	2274	4,72%	2597,57 lb (cd)
G3E1	2261	5,05%	2596,39 lb (cd)
G3E2	2264,33	5,12%	2760,70 lb (bcd)
G3E3	2268,67	4,72%	2893,68 lb (ab)
G3E4	2296	5,07%	2310,61 lb (e)
Factorial versus testigo	NS	NS	**
Testigo absoluto	2286,67	4,21%	2605,67 lb (c)
Granulometría	2278,11	4,61%	2790,10 lb (a)
Elastómero	2290,30	4,60%	2640,10 lb (b)
Coeficiente de variación	0,87	9,75	3,38
P	0,6711	0,044	<0,0001

(<sup>1</sup>) Diferencia significativa entre los tratamientos.

(<sup>2</sup>) Diferencia altamente significativa entre los tratamientos. Letras en común no son estadísticamente diferentes.

**Fuente:** Tomado de Schettini (2020).

**Tabla N.º 12.** Flujo, vacíos en agregados minerales y vacíos en rellenos de asfalto. Diseño de mezclas asfálticas integrando residuos sólidos de la industria automovilística (elastómero) y de vías (pavimento asfáltico envejecido).

Tratamientos	Flujo in/100	% de vacíos en agregados minerales	% de vacíos en rellenos de asfalto
Factor G	*	**	**
G1 granulometría fina	14,83 (ab)	15,12% (b)	71 ,80% (a )
G2 granulometría media	14,42 (a)	15,40% (b)	70 ,36% (ab )
G3 granulometría gruesa	15,17 (b)	15,82% (a)	68 ,47% (b )
Factor E	*	NS	NS
E1 4% elastómero	14,44 (a)	15,57%	69 ,66%
E2 8% elastómero	14,56 (ab)	15,39%	70 ,17%
E3 12% elastómero	14,89 (ab)	15,33%	70 ,96%
E4 16% elastómero	15,33 (b)	15,49%	70 ,14%
Interacción	NS	NS	NS
G1E1	14,67	15,12%	72 ,57%
G1E2	14,33	15,03%	71 ,67%
G1E3	15,00	15,22%	70 ,59%
G1E4	15,33	15,10%	72 ,67%
G2E1	14,00	15,67%	68 ,13%
G2E2	14,00	15,36%	71 ,27%
G2E3	14,67	15,15%	72 ,47%
G2E4	15,00	15,43%	69 ,55%
G3E1	14,67	15,92%	68 ,29%
G3E2	15,33	15,78%	67 ,57%
G3E3	15,00	15,63%	69 ,83%
G3E4	15,67	15,94%	68 ,18%
Factorial versus testigo	**	NS	NS
Testigo absoluto	13,00 a	14,96%	71 ,92%
Granulometría	14,81 b	15,45%	70 ,21%
Elastómero	14,81 b	15,59%	70 ,23%
Coefficiente de variación	4,42	2,57	3 ,04
P	0,0001	0,041	0,038

(\*) Diferencia significativa entre los tratamientos.

(\*\*) Diferencia altamente significativa entre los tratamientos. Letras en común no son estadísticamente diferentes.

**Fuente:** Tomado de Schettini (2020).

## 1.5. Estudio de soluciones para mitigar los impactos de los residuos sólidos de construcción en Bolivia

En 2016 en Bolivia los escombros de los RCD son pasados por un tratamiento de reducción de partículas mediante molinos. Este material se revaloriza de dos formas. La primera hace referencia a la utilización de escombros como agregado para la obtención de hormigón. Donde el objetivo es sustituir la arena de la mezcla de concreto por los escombros de hormigón tratados, los resultados no fueron del todo satisfactorios. Pasaron las pruebas de calidad de consistencia aplicando el ensayo de cono de Abrams (Ver Tabla 13) obteniendo valores entre 6,1cm hasta 7,2cm en desplazamiento; sin embargo, los ensayos de compresión (Ver tabla 14) según la normativa ISO 4012 al 100% y 50% de reemplazo por arena, obtuvieron resistencias por debajo de la esperada. En segunda hace referencia a la utilización de escombros en la fabricación de ladrillos. Donde se usó ladrillos molidos en porcentajes del 1% al 10% con una cantidad total de 33 muestras, los resultados fueron favorables y pasaron las pruebas de resistencia a la compresión (ver tabla X) y las pruebas de absorción de agua (ver tabla 16). La resistencia a la compresión se obtuvo un valor promedio máximo de 185,02 kg/cm<sup>2</sup> y un mínimo de 103,65 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el porcentaje de absorción de agua obtuvo un valor promedio máximo de 15,60 y un valor mínimo de 13,22. Para la reutilización de ladrillos molidos se concluye usar con un porcentaje máximo del 6%. Para la reutilización del hormigón se sugiere probar con concentraciones de RCD con menor porcentaje al 50% (Vargas, 2016).

**Tabla N.º 13.** Resultados de cono de Abrams

Tipo de Hormigón	Desplazamiento cm	Observaciones
H 18	7,2	Ninguna
H 21	7,0	Ninguna

H 18 (50 - 50 Arena - Escombro)	6,5	Para que se cumpla con el requisito de desplazamiento se aumentó aprox. 450 ml de agua
h 18 (0 - 100, Arena - Escombro)	6,1	Para que se cumpla con el requisito de desplazamiento se aumentó aprox. 980 ml de agua

**Fuente:** Tomado de Vargas (2016)

**Tabla N.º 14.** Resultados de ensayo a la compresión

Nº de ensayo	Tipo de Ho	Especificación	Resistencia obtenida a 7 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia final (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
1	H18	Mezcla normal	131,05	181,92	
2	H18	Mezcla normal	132,50	183,93	185,23 + -4,12
3	H18	Mezcla normal	136,76	189,84	
1	H21	Mezcla normal	143,97	199,85	
2	H21	Mezcla normal	150,07	208,33	207,64 + - 7,47
3	H21	Mezcla normal	154,70	214,75	
1	H18	100% reciclado en lugar de arena	55,94	77,66	
2	H18	100% reciclado en lugar de arena	61,45	85,30	79,94 + -4,66
3	H18	100% reciclado en lugar de arena	55,36	76,85	
1	H18	50% reciclado en lugar de arena	81,69	113,40	
2	H18	50% reciclado en lugar de arena	80,90	112,30	110,69 + -3,78
3	H18	50% reciclado en lugar de arena	76,63	106,37	

**Fuente:** Tomado de Vargas (2016)



**Tabla N.º 15.** Resultados ensayo resistencia a la compresión

% ladrillo molido	Resistencia de Compresión (Rc)			Promedio
	kg/c			
	Nº de Ensayo			
	1	2	3	
0%	185.23	182.34	187.5	185.02
1%	177.25	176.04	181.19	178.16
2%	167.08	171.93	168.12	169.04
3%	159.05	160.18	163.31	160.85
4%	151.16	150.1	152.03	151.1
5%	141.15	178.61	181.86	167.21
6%	130.26	128.62	129.33	129.4
7%	118.23	115.56	116.78	116.86
8%	118.06	116.29	110.36	114.9
9%	109.94	106.02	107.69	107.88
10%	103.06	105.6	102.26	103.65

**Fuente:** Tomado de Vargas (2016)

**Tabla N.º 16.** Ensayo de absorción de agua.

% ladrillo molido	Absorción de agua (AA) (%)			Promedio
	Nº de Ensayo			
	1	2	3	
0%	13.31	13.23	13.11	13.22
1%	14.69	14.5	14.35	14.51
2%	14.32	14.79	14.65	14.59
3%	14.18	14.62	14.87	14.56
4%	14.44	14.38	14.59	14.47
5%	15.2	15.76	15.83	15.6
6%	13.56	13.78	13.76	13.7

7%	15.27	15.15	15.75	15.39
8%	13.81	13.97	14.02	13.93
9%	13.46	13.67	13.4	13.51
10%	14.96	15.06	15.01	15.01

Fuente: Tomado de Vargas (2016)

### 1.6. Estudio de soluciones para mitigar los impactos de los residuos sólidos de construcción en Perú

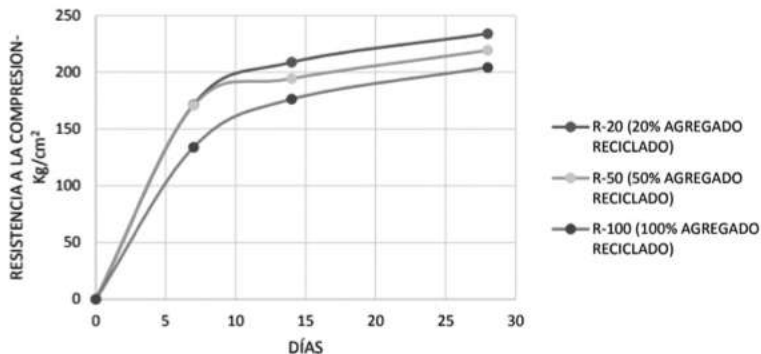
En Perú se realizó el estudio de 27 muestras de mezcla de concreto (hormigón) al 20%, 50% y 100% de agregado reciclado para obtener una mezcla de concreto con un  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . Para lo cual se seleccionó el material reciclado cumpliendo la granulometría de la norma NTP 400.012 (Ver **Figura N.º 12**), el vaciado de probetas fue en dimensiones de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, con su respectivo curado según la norma ASTM C192 para después pasar por la prueba de resistencia a los 7, 14 y 28 días de edad obteniendo buenos resultados para la mezcla de concreto al 20% de RCD según lo especificado en la figura X (Machaca, 2018)

**Figura N.º 12.** Obtención de agregado grueso reciclado de escombros de la CU UNJBG



Fuente: Tomado de Machaca (2018)

**Figura N.º 13.** Gráfico resistencia a compresión de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con 20%, 50% y 100% de agregado reciclado a 28 días



Fuente: Tomado de Machaca (2018)

La combinación con mayor desempeño fue del 20% de agregado reciclado, obtuvo una resistencia máxima de  $238,07 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de edad.

En la Ciudad de Puno se reciclan los residuos sólidos de pavimentos rígidos obtenidos de las calles y avenidas de la ciudad de Juliaca. Se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los RCD a utilizar para el método del aprovechamiento. Se obtuvo una resistencia a la compresión de  $f'c = 255 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de edad, superando el diseño de resistencia esperado de  $210 \text{ kg/cm}^2$  Según lo establecido en la figura 13. (Parrillo, 2019)

Según los datos mostrados (ver tabla 17) se obtienen mejores resultados de resistencia a la compresión entre los 20 hasta los 80% en RCD.

**Tabla N.º 17.** Resultado de resistencia a la compresión para diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$

DESCRIPCION	Esfuerzo $\text{kg/cm}^2$	Edad en días	Carga (kg)	Esfuerzo de rotura	%
BRIQUETA N°1 CONCRETO NORMAL	210	28	48530.00	274,63	130,78

BRIQUETA N°2 - RECICLADO 100%	210	28	35620.00	201,66	96,03
BRIQUETA N°3 - RECICLADO 80% -A. GRUESO 20%	210	28	42290.00	239,43	114,01
BRIQUETA N°4 - RECICLADO 60% -A. GRUESO 40%	210	28	44100.00	249,67	118,89
BRIQUETA N°5 - RECICLADO 50% -A. GRUESO 50%	210	28	45090.00	255,28	121,56
BRIQUETA N°6 - RECICLADO 40% -A. GRUESO 60%	210	28	47030.00	266,26	126,79
BRIQUETA N°7 - RECICLADO 20% -A. GRUESO 80%	210	28	45740.00	258,96	123,31

**Fuente:** Tomado de Parrillo (2019)

## CONCLUSIONES

Es posible la aplicación de los RCD para la elaboración de insumos de asfaltos (8% RCD), elaboración de mezclas de concreto (25% de RCD) y elaboración bloques de tierra comprimido (70% de RCD).

Para aplicar los RCD es necesario realizar su caracterización, es decir, dimensionar los RCD por peso, volumen o proporciones, que pueden variar según el tamaño y lugar geográfico de las obras. Los RCD tienen una mayor proporción en mezclas de concreto y materiales cerámicos.

Se debe considerar mejorar las normativas legales en base a la problemática y buenas prácticas de RCD de los países mencionados en la investigación. Incluir en 25% de materiales reciclados en la fabricación de materiales de construcción (México), incluir incentivos para las empresas de transporte de RCD (Colombia) y mejorar los botadores no controlados (Perú).

## BIBLIOGRAFÍA

- Albanés, D. D. J. (2020). Idea de negocio para el desarrollo de una empresa de asesoría, gestión y tratamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD), en obra en el nordeste antioqueño con planta en el municipio de Amalfi Antioquia. <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/16031>
- De Santayana, F. P. (2020). Estudios sobre utilización de residuos en terraplenes de carreteras. Revista Digital del Cedex, (196), 26-38. <http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieriacivil/article/view/2420>
- Díaz, L. G. (2020). Aprovechamiento de los residuos de Construcción y Demolición (RCD) en la elaboración de concretos en Colima (Doctoral dissertation, Instituto Tecnológico de Colima). <https://dspace.itcolima.edu.mx/handle/123456789/1478>
- Garay, I. (2018). Caracterización de Residuos de Construcción de Lima y Callao. (Tesis Ing. Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/10189/BAZAN\\_GARAY\\_CHARACTERIZACION\\_RESIDUOS\\_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/10189/BAZAN_GARAY_CHARACTERIZACION_RESIDUOS_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Hernández, A. V., Botero, L. F. B., & Arango, D. C. (2015). Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. Ingeniería y Ciencia, 11(21), 197-220. <https://www.redalyc.org/pdf/835/83533766010.pdf>
- Machaca, E. B. (2018). Producción de agregado reciclado para mitigar los impactos ambientales de los residuos de construcción en la ciudad de Tacna, año 2017. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3571>

- León, J. (2017). En Lima se generan 19 mil toneladas de desmonte al día y el 70% va al mar o ríos. El Comercio p.1. Recuperado de <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/limageneran-19-mil-toneladas-desmonte-dia-70-mar-rios-noticia-453274>
- Parillo, E., & Camargo, C. (2019). Reutilización de Residuos Sólidos en la producción de pavimentos rígidos de bajo costo en el distrito de Juliaca, Puno. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/2697>
- Pinilla, I. N., & Perez, Y. A. (2020). Formulación de medidas de manejo para el aprovechamiento de residuos de Construcción y Demolición (RCD) en la empresa MHC Ingeniería y Construcción de obras civiles SAS. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/3531>
- Rivera, C. J., & Gutiérrez, C. (2007). Analisis de impacto ambiental por la inadecuada disposicion de residuos de la construccion y demolicion en el Valle de Mexico y propuestas de solucion. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, 1(4). <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/14469>
- Rocha, J. R. (2020). Elementos de construcción a partir de residuos de construcción y demolición en Bogotá. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24803>
- Sánchez, R. D. (2019). Aprovechamiento y Gestión de Residuos de Demolición y Construcción en la ciudad de Santiago de Cali (Doctoral dissertation, Universidad Santiago de Cali). <https://repository.usc.edu.co/handle/20.500.12421/625>
- Schettini, G. A. N. (2019). Diseño de mezclas asfálticas integrando residuos sólidos de la industria automovilística (elastómero) y de vías (pavimento asfáltico envejecido) en Manabí, Ecuador. Revista Industrial Data, 22(1), 23-38. <https://doi.org/10.15381/idata.v22i1.16523>

- Vargas, R., & Luján Pérez, M. (2016). Estudio de Caracterización y Propuestas de Revalorización de Residuos de Construcción y Demolición en la Ciudad de Cochabamba. *Acta Nova*, 7(4), 399-429. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892016000200004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892016000200004&script=sci_arttext)
- Vargas, E. J. (2020). El reciclaje de residuos por demolición de edificaciones menores en el desarrollo sostenible caso distrito Jesús María-Lima. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/4154>

# EFECTOS AMBIENTALES EN LA CALIDAD DEL AIRE PRODUCTO DE LA PANDEMIA COVID - 19 EN LA CIUDAD DE LIMA - PERÚ

Edwin Turín Sedano <sup>a</sup>  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Santiago Estrada Nuñez <sup>b</sup>  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

---

## Resumen

El virus del covid -19 ha traído efectos negativos y positivos que han impactado en el medio ambiente a nivel mundial. El gobierno del Perú ha tomado acciones de inmovilización (cuarentena) que ha traído en el corto plazo un impacto positivo en la calidad del aire, estos impactos positivos se basan en una menor emisión de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) al medio ambiente, debido a la paralización de las industrias y una paralización de un 80% del parque automotor a nivel nacional, siendo el parque automotor uno de los principales contaminantes del aire en el Perú, sin embargo este virus (COVID – 19) ha desnudado las deficiencias que tiene el Gobierno, la Industria y la Sociedad como un todo, el Gobierno porque no ha establecido leyes adecuadas en el manejo ambiental y si los estableció aún no tiene la capacidad para hacerlas cumplir, la industria porque su rol desmedido de producción no controlada impacta en la calidad de aire y la sociedad porque el nivel de educación y cultura no son las mejores.

**Palabras clave:** Calidad de aire, impacto ambiental

## Abstract

The virus, covid -19, has brought negative and positive effects that have impacted the environment worldwide. The government of Peru has taken immobilization actions (quarantine) that have brought in the short term a positive impact on air quality, these positive impacts are based on a lower emission of sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) to the environment, due to the paralysis of the industries and a paralysis of 80% of the vehicle park at national level, being the vehicle park one of the main air pollutants in Peru, also this virus (COVID-19) revealed the deficiencies that the Government, Industry and Society as a whole have. The Government because it has not established adequate laws on environmental management and if it established them it still does not have the capacity to enforce them, the industry because its excessive role of uncontrolled production impacts on air quality and society because the level of education and culture are not the best.

**Keywords:** air quality, environmental impact

<sup>a</sup> [eturins@unmsm.edu.pe](mailto:eturins@unmsm.edu.pe) y [eturins@gmail.com](mailto:eturins@gmail.com) - Magister en Gestión Estratégica de Empresas por la PUCP e Ingeniero Industrial por la UNMSM.

<sup>b</sup> [sestradaan12@ucvvirtual.edu.pe](mailto:sestradaan12@ucvvirtual.edu.pe) - Magister en Docencia en Educación Superior por la UPLA e Ingeniero Industrial por la UNI.



## 1. INTRODUCCIÓN

La calidad del aire es importante para la vida por ello es necesario la no alteración de los elementos que la componen porque puede afectar la vida y por consecuencia la naturaleza, la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992), indica como primer principio que “Los seres humanos constituyen el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible. Tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza”.

Las actividades productivas y de servicios en el país permiten un desarrollo económico, pero también son responsables de la generación de contaminantes al aire y a otros componentes ambientales, uno de los sectores principales de generación de estas emisiones es el sector transporte, afectando a millones de personas que viven en la capital (Dawidowski & Sánchez-Ccoyllo, 2014). El cual se ha visto paralizado por el reciente estado de emergencia declarado por la ONU, siendo Perú uno de los países que decretó estado de emergencia nacional y aislamiento social obligatorio mediante el DS N° 044-2020-PCM.

Se ha visto a nivel mundial que la pandemia Covid19 ha generado grandes impactos, no solo en el sector salud, sino también en el medio ambiente, pudiéndose apreciar grandes cambios visuales con cielos despejados, el resurgimiento de algunas especies y la conservación de reservas naturales (Torres & Landines, 2020)

Estos cambios han sido estudiados en distintos países del mundo, la Universidad de Valencia en España evaluó el impacto del mes de marzo y abril en los niveles atmosféricos de CO, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> en 11 ciudades de España, obteniendo como resultado la reducción de los niveles atmosféricos de NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub>, y un aumento del nivel de O<sub>3</sub> (Briz-Redón & Belenguer-Sapiña, 2020)

Así también en China, “según indica la NASA y la Agencia Espacial Europea a través de unas imágenes satelitales donde se observaba un descenso drástico de la polución por NO<sub>2</sub>” (Patel, 2020) y “las emisiones de carbono cayeron

alrededor de un 25% durante un período de cuatro semanas, equivalente a alrededor de 200 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>” (Mylliyvirta, 2020).

Este tipo de efectos traen beneficios para el planeta, teniendo en cuenta que generan disminución de las emisiones de gases contaminantes al aire. Por ello se realiza esta investigación donde se tiene como objetivo el conocer los efectos ambientales generados en la calidad del aire durante la pandemia Covid19. Planteando en base a los antecedentes mencionados que la pandemia Covid19 ha permitido que calidad del aire mejore durante esta época de aislamiento social obligatorio.

El análisis de estos efectos permitirá comprender que acciones se deben tomar frente a ello, y el desarrollar mecanismos que orienten a la mejora de la calidad del aire en nuestra ciudad por parte de las autoridades.

## **1.1. La Contaminación del Aire en el Perú**

El Perú es un país con una economía emergente que presenta crecimientos económicos muy rápidos pero que aún tiene una renta per cápita baja; sin embargo, cada vez más se va industrializando: Según The Worlds Most Reputable Countries (2019), el año 2019 el “Perú ocupó el primer lugar como país con mejor imagen en Latinoamérica y ocupó el puesto número 25 a nivel mundial”, también el Banco Central de Reserva del Perú (2020), indica que “somos considerados como el país con menor riesgo país de Latinoamérica”, esto permite que haya cada vez más inversionistas en los distintos sectores productivos que ven al Perú como una oportunidad de inversión y de maximización de sus rentabilidades; sin embargo, la industrialización del país, la apertura de nuevos negocios, el crecimiento del parque automotor y la informalidad, tienen una relación directa con la contaminación del aire. Al respecto, Suárez y Molina (2014) indican que “ el desarrollo industrial de un territorio puede inducir una fuerte reactivación socioeconómica y mejoras en la calidad de vida de la población, también es capaz de ocasionar

importantes modificaciones del entorno y diversas formas de contaminación del aire”.

La contaminación del medio ambiente en el Perú se está regulando poco a poco, desde el año 2008, fecha en que se creó el Ministerio del Ambiente. Este ente regulador en materia ambiental ha emitido normativas y parámetros que deben de cumplir distintos sectores de producción y de servicios; sin embargo, basta con darse un paseo por Lima para evidenciar el no cumplimiento de dichas regulaciones. Por ejemplo, se evidencia un parque automotor obsoleto, donde una gran cantidad de vehículos emiten un polvo oscuro conocido como dióxido de carbono, se observan plantas industriales que depositan sus residuos contaminantes, principalmente efluentes, en los ríos, y que por las noches se encienden sus hornos y emiten material particulado al ambiente.

Se observa también, falta de cultura y educación en la población, muchos ciudadanos arrojan residuos a las calles entre otros, y que todas estas acciones en su conjunto realizan una contaminación atmosférica, pero que es la contaminación atmosférica para Yassi, Kjellstrom, Kok y Guidotti (2002), definen a la contaminación atmosférica como “la emisión al aire de sustancias peligrosas a una tasa que excede la capacidad de los procesos naturales de la atmósfera para transformarlos, precipitarlos (lluvia o nieve), y depositarlos o diluirlos por medio del viento y el movimiento del aire”.

Pero está contaminación atmosférica afecta directamente la calidad del aire que respiramos, pero que componentes químicos son los que afectan a la calidad del aire o cuales son los principales contaminantes?. Para el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI (2012) , “los aerosoles, óxidos de azufre (SOx), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos (Hn Cm), ozono (O3) y dióxido de carbono (CO2); como las especies químicas más frecuentes que causan alteración en la composición de la atmosfera” también para La Organización Mundial de la Salud (2020), “los contaminantes PM10 (material particulado grueso), PM2.5

(material particulado fino), NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrógeno) y SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre), pueden generarse mediante procesos naturales como el polvo, la arena, las cenizas volcánicas y la niebla; pero principalmente son emitidos y quedan suspendidos en el aire como consecuencia de la actividad humana, la tecnología y la matriz energética, que inciden en la contaminación producida por el transporte, la quema de combustibles fósiles y el funcionamiento de las industrias”

Los efectos ambientales que generalmente afectan, negativamente, la calidad de aire en Lima Metropolitana, provienen principalmente del transporte público; el Comité de Gestión Iniciativa Aire Limpio de Lima y Callao (2010) , indica que “la dinámica poblacional y las actividades económicas que se desarrollan en cada ciudad, así los problemas de calidad del aire en los enclaves urbanos con gran cantidad de población como es el caso de la Metrópoli de Lima y Callao provienen de las actividades relacionadas a la producción de bienes y de los diferentes servicios que se brindan a la población, siendo el principal servicio el de transporte público y privado aunado a la inexistente planificación urbana”.

En el Diagnóstico ambiental del Perú realizado por el de Grupo de Trabajo Multisectorial para la propuesta para un Ministerio del Ambiente, realizado por la Presidencia del Consejo de Ministros - PCM (2019), se indica que “Este problema de contaminación se ha concentrado en las grandes ciudades, en especial Lima-Callao y en lugares con industrias contaminantes, especialmente mineras y pesqueras. Teniendo un parque automotor obsoleto, constituido en gran parte por vehículos antiguos y sin una regulación adecuada; la mala calidad de los combustibles, que contiene azufre en el diesel, que supera las 5 000 partes por millón (ppm), cuando debería estar en menos de 500 ppm; el incremento desmedido del parque automotor, la falta de mantenimiento y el envejecimiento del mismo, son las causas fundamentales de la contaminación del aire”.

Los costos económicos de la degradación ambiental en el Perú alcanzan un monto de alrededor de 8 500 millones de nuevos soles anuales, es decir, aproximadamente 4% del PBI (Bustíos & Martina, 2013), y según Manuel Romero y Francisca Diego (2006), la contaminación del aire es una de las formas principales en que puede ser degradado o afectado parte del ambiente, generando un costo de 1800 millones de nuevos soles anuales (Bustíos & Martina, 2013).

Actualmente, esta degradación está afectando enormemente la salud y la productividad de la población nacional, especialmente la que vive en situación de pobreza, y amenaza el bienestar de las generaciones actuales y de las futuras. Siendo el 70% del costo total de la degradación ambiental en el Perú el que afecte la salud humana (Bustíos & Martina, 2013).

El Banco Mundial y el Institute for Health Metrics and Evaluation (2016), reportan que la contaminación del aire ha planteado un riesgo importante para la salud desde los primeros años de la década de 1990, el primer período para el que se dispone de estimaciones mundiales de la exposición a dicha contaminación y sus efectos en la salud. En 1990, como en 2013, la contaminación del aire fue el cuarto riesgo vital principal en todo el mundo y ocasionó 4,8 millones de fallecimientos prematuros. Según un estudio realizado en Chile, se estima que la contaminación del aire es responsable del aumento en el número de personas afectadas por conjuntivitis, laringitis, asma y bronquitis crónica en las ciudades. Incluso, a largo plazo, puede observarse un aumento de efisema y cáncer broncopulmonar (Gil & Cáceres, 1997)

En el 2013 la Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que Lima es la segunda ciudad con mayor contaminación atmosférica en Latinoamérica, con un valor promedio anual de material particulado (PM 2.5) de 48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y (PM 10) 88  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En el 2016, más del 80% de las personas que viven en áreas urbanas, estuvieron expuestas a niveles de calidad del aire que exceden los límites de la OMS (WHO, 2016)

Una evaluación hecha por la (OMS, World Health Organization, 2016) en Perú, muestra la exposición de la población al material particulado (PM2.5), con concentración media anual de material particulado de un diámetro aerodinámico de 2,5 mm o menos (PM2,5) con límite superior e inferior. Observando que la media anual supera el límite establecido en los Estándares de Calidad del Aire de valor 50 ug/m3, DS N 003-2017-MINAM.

**Tabla N.º 1:** Concentración media anual de material particulado (PM2.5)

PM 2.5 (ug/m3), áreas urbanas y rurales			PM 2.5 (ug/m3), áreas urbanas		
Media	Inferior	Superior	Media	Inferior	Superior
26	16	42	36	23	54

**Fuente:** Organización Mundial de la Salud, 2012.

Por ello la (OMS, World Health Organization, 2016) considera a la contaminación del aire, como el mayor riesgo ambiental para la salud, lo que ha sido demostrado en los estudios de epidemiología donde se asocia una mayor morbilidad pulmonar con episodios de alta contaminación del aire por material particulado, según Susanne Becker, Joleen M. Soukup (2010), siendo responsable de aproximadamente una de cada nueve muertes al año.

Esto se refleja en la siguiente tabla, donde se muestra la relación de la exposición a material particulado PM 2.5 con la carga de mortalidad en el Perú.

**Tabla N.º 2:** Muertes por Contaminación del Aire de personas de 25 años a más, en 2012 en el Perú

Número de muertes	ALRI	COPD	Cáncer de Pulmón	IHD	Derrame	Total
Total	163	128	651	1949	1348	4239
Mujeres	72	66	312	847	651	1948
Hombres	91	62	339	1103	697	2291

**Fuente:** Organización Mundial de la Salud, 2012.

PM2.5: partículas de un diámetro de 2,5 mm o menos; ALRI: enfermedad aguda de las vías respiratorias inferiores; COPD: enfermedad pulmonar obstructiva crónica; IHD: enfermedad isquémica del corazón.

Según informe de la ONU, de la Ambient air pollution, se reportó para el año 2012, 4239 personas fallecidas, siendo los varones el grupo de mayor cantidad; en el (2014) Gonzales y Zevallos indicaron que en la ciudad de Lima hay anualmente 2300 muertes prematuras atribuibles a esta contaminación.

Se considera que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humanos. Sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo (OMS, 2005) y un retroceso para el desarrollo, por ocasionar la pérdida de mano de obra productiva y la reducción de los ingresos del país ( World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation, 2016).

## 1. 2. Pandemia Covid19

El Director de la Organización Mundial de la Salud, el pasado 11 de marzo, anunció al coronavirus COVID-19 como pandemia, al extenderse la epidemia por todo el mundo, afectando a un gran número de personas (OMS,

2020). Los coronavirus (CoV) son virus que pueden causar infección respiratoria aguda (IRA), que puede llegar a ser leve, moderada o grave (Lizcano, Acosta, & Girone, 2020)

La Sociedad Italiana de Medicina Ambiental (2020) plantea que el brote del coronavirus es más grave donde hay niveles más altos de material particulado (PM). Por ello, Lizcano y Acosta (2020), indican que la inhalación simultánea de contaminantes químicos en PM, especialmente las partículas menores a 2,5 mm (micrómetros), junto con el virus de la COVID-19, puede exacerbar el nivel de infección por COVID-19.

Una encuesta realizada por la Escuela de Salud Pública Chan de Harvard en los EEUU, indica que un pequeño aumento en la exposición a largo plazo a PM 2.5 conduce a un gran aumento en la tasa de muerte por COVID-19 (Wu & Nethery, 2020).

Estos resultados resaltan la importancia de hacer cumplir las regulaciones existentes sobre contaminación del aire, pese a que las autoridades de salud pública le han restado importancia a la transmisión del coronavirus por el aire, posiblemente debido a que es difícil detectar directamente los virus que viajan a través de él, pero el cumplimiento de estos procedimientos es de vital importancia para proteger la salud humana tanto durante como después de la crisis del COVID-19 (Lizcano, Acosta, & Girone, 2020).

## **2. METODOLOGIA**

Para el desarrollo de la metodología se hizo una búsqueda bibliográfica sobre la calidad ambiental y su relación con la pandemia Covid19 en la ciudad de Lima, esta información es desde el año 1997 hasta el 2020.

## **3. RESULTADOS**

Las medidas tomadas por los gobiernos nacionales o locales de los países de la región para contener los contagios en el marco de la pandemia de COVID-19

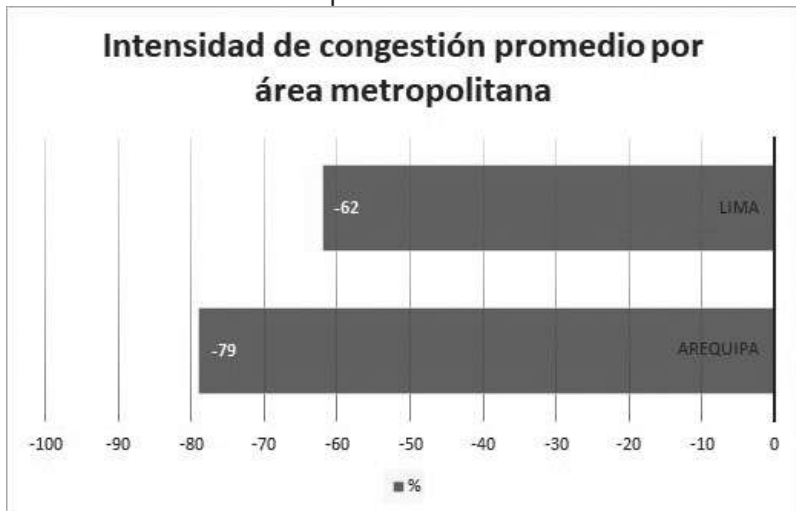


incluyen cuarentenas, confinamientos y reducción o cese de actividades económicas, y han impactado en los niveles de producción y movilidad humana.

Como parte de las medidas tomadas a nivel nacional de aislamiento social, permitió disminuir la circulación vehicular en un 63% y en Lima 62%. Lo cual repercutió en la emisión de diversos contaminantes al ambiente (BID, Banco Interamericano de Desarrollo, 2020)

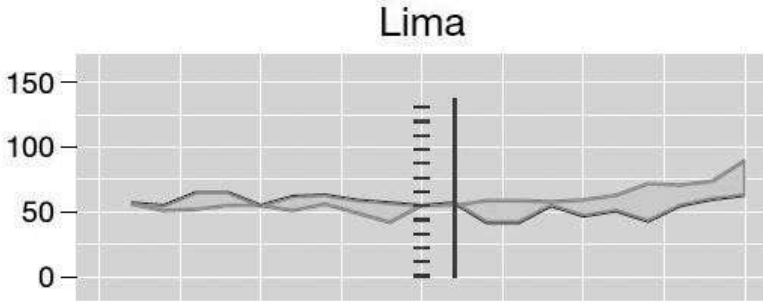
El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2020) realizó un análisis de promedios de las medianas semanales de las concentraciones diarias de mediciones para el índice de PM2.5 como uno de los indicadores más significativos en calidad de aire y por sus consecuencias graves sobre la salud. Representando la franja de color rojo las ganancias en la calidad de aire.

**Figura N.º 1:** Intensidad de Congestión promedio por área metropolitana en Perú.



**Fuente:** Banco Interamericano de Desarrollo, Tablero de Impacto del Coronavirus 2020.

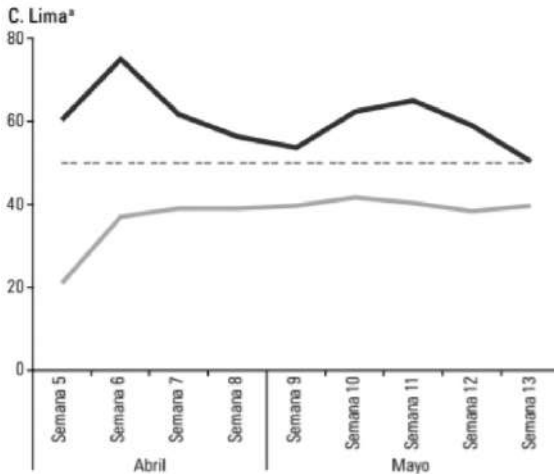
**Figura N.º 2:** Concentración promedio de las medias semanales diaria de PM 2.5 en Lima.



**Fuente:** Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2020.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020), registró en Lima una disminución de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) durante la cuarentena. Este contaminante es emitido principalmente por la quema de combustibles fósiles, en particular en el transporte y la industria. Esta disminución ha permitido que el aire en Lima se considere “bueno”, según el índice de calidad del aire, y no dañino para la salud.

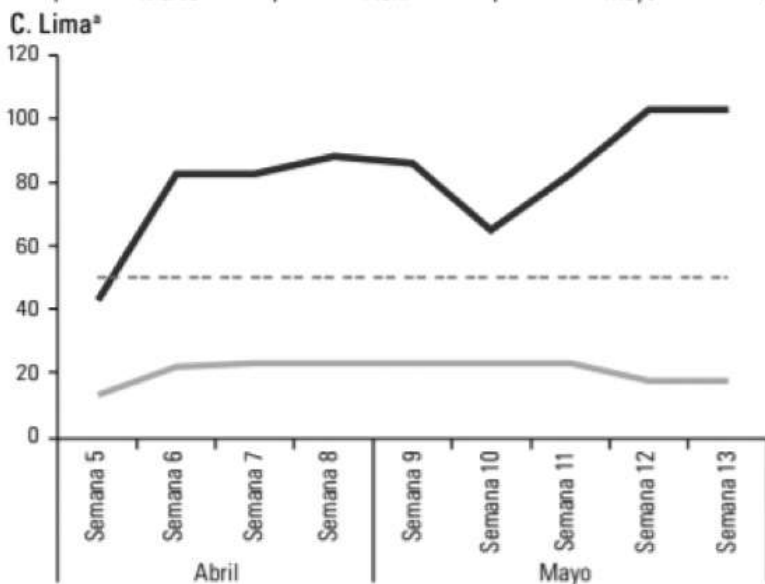
**Figura N.º 3:** Concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), 2019-2020.



**Fuente:** CEPAL, 2020.

En Lima se observa una gran disminución de la concentración de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en 2020 respecto del año anterior: inicialmente representa la mitad del nivel de 2019 y luego supone una reducción del 80%. A diferencia de 2019, durante 2020 las concentraciones registradas en Lima se sitúan dentro del rango “bueno” del índice de calidad del aire. Considerando a Lima como la segunda ciudad de la región con mayor disminución de NO<sub>2</sub> (BID, 2020).

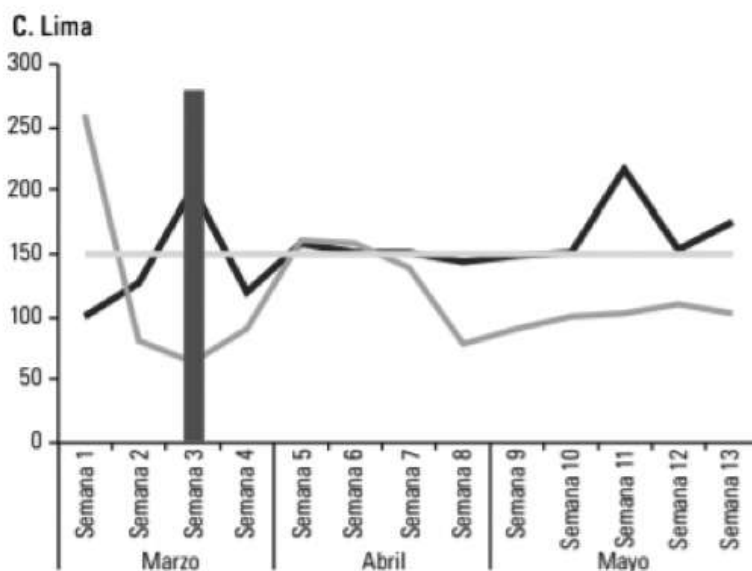
**Figura N.º 4:** Concentración de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), 2019-2020.



**Fuente:** CEPAL, 2020.

También se muestra una disminución del material particulado fino (PM<sub>2,5</sub>). El material particulado fino afecta las vías respiratorias altas y bajas, inflamándolas. Se genera como una combinación no específica de sólidos y gases. Si bien en el período estudiado disminuyeron la movilidad y la combustión de fósiles, es probable que se mantuviera cierta suspensión de polvo y partículas procedentes de quemas y calefacción.

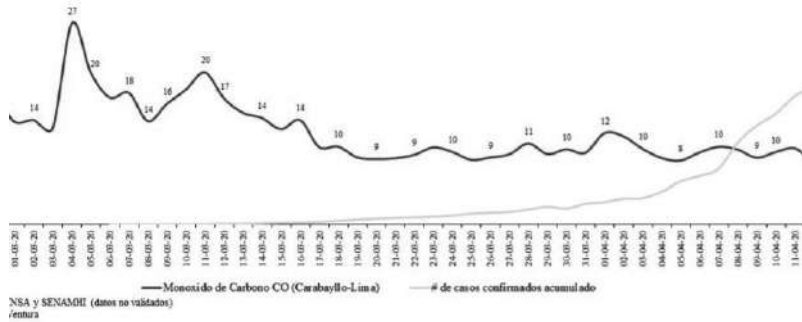
**Figura N.º 5:** Concentración de material particulado fino (PM<sub>2,5</sub>), 2019-2020.



**Fuente:** CEPAL, 2019.

Jair Vargas (2020) realizó un análisis de la concentración de partículas contaminantes del aire, para ello empleó el Índice de la Calidad del Aire (INCA), este método fue establecido por la Resolución Ministerial N° 181-2016-MINAM, el INCA tiene un valor óptimo comprendido entre 0 y 100, el cual coincide con el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental de Aire, si este es superado la calidad del aire es considerada “mala”. Para este análisis se usó información del The World Air Quality Index Project y del SENAMHI.

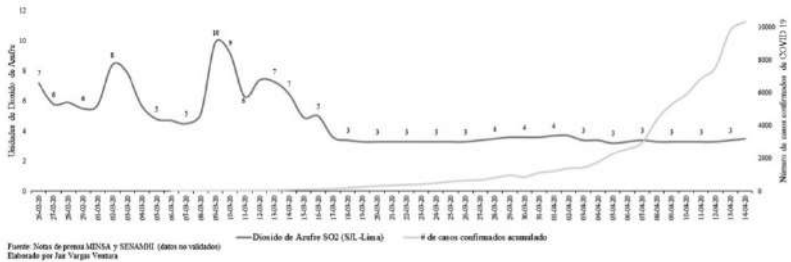
**Figura N.º 6:** Monóxido de Carbono CO (Carabayllo-Lima) y Número de casos confirmados de COVID-19



Fuente: Jair Vargas Ventura, 2020.

Al 14 de abril la cantidad de monóxido de carbono presente en los aires de Lima se ha reducido en 21% respecto del mes anterior, manteniéndose dentro del intervalo de una buena calidad del aire (ICA<100).

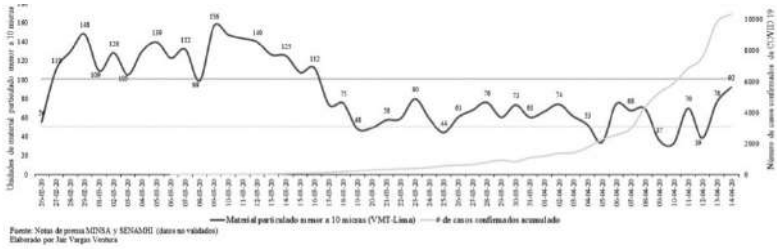
**Figura N.º 7:** Dióxido de Azufre (SJL-Lima) y Número de casos confirmados de COVID-19



Fuente: Jair Vargas Ventura, 2020.

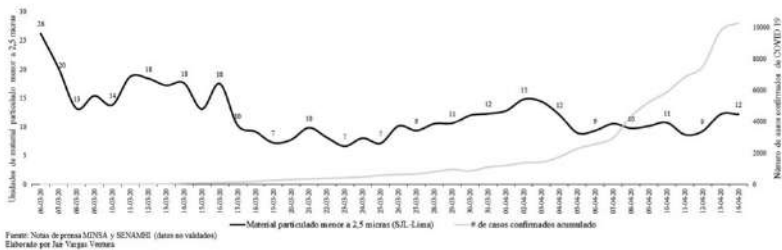
Al 14 de abril la cantidad de dióxido de azufre se ha reducido en 46% respecto del mes anterior, manteniéndose dentro del intervalo de una buena calidad del aire (ICA<100).

**Figura N.º 8:** Material particulado menor a 10 micras (VMT-Lima) y Número de casos confirmados de COVID-19



Fuente: Jair Vargas Ventura, 2020.

**Figura N.º 9:** Material particulado menor a 2,5 micras (SjL-Lima) y Número de casos confirmados de COVID-19



Fuente: Jair Vargas Ventura, 2020.

Al 14 de abril, el PM de 10 micras se ha reducción en 26% y el PM de 2.5 micras en 31%, respecto del mes anterior. Es necesario alertar que las unidades de PM de 10 micras exceden los niveles de calidad del aire bueno y moderado, con mayor intensidad durante los días previos a la declaración del estado de emergencia (ICA>100).

Estos hechos nos hacen pensar que el planeta se está tomando un “respiro” de toda la contaminación provocada por las actividades humanas, pero existe la otra cara de la moneda, que muestra los efectos negativos sobre el ambiente que genera la COVID-19, por ejemplo, el

incremento de residuos hospitalarios y domésticos, el efecto rebote de las emisiones de gases de efecto invernadero, etc. (Patel, 2020).

El estado peruano aprobó la reanudación de actividades económicas en forma gradual y progresiva dentro del marco de la declaratoria de emergencia sanitaria nacional por las graves circunstancias que afectan la vida de la nación a consecuencia del Covid19, a través del DS N° 080-2020-PCM, estableció mecanismos para la reactivación económica de forma gradual, esto permitió la activación de diversos sectores productivos y de servicio, como las industrias y el sector transporte.

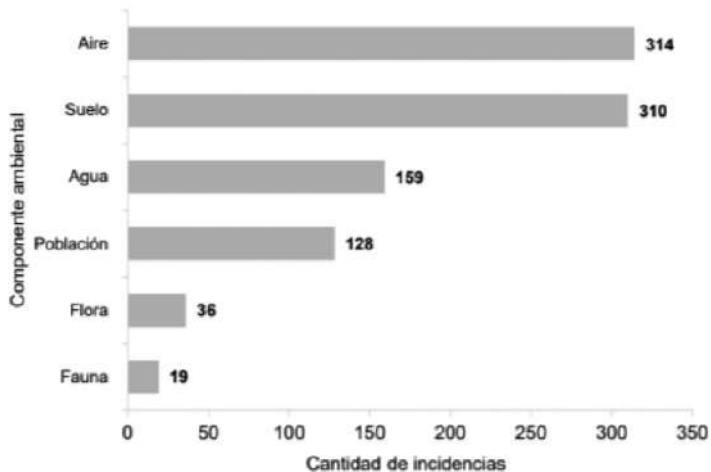
La falta de fiscalización de la activación de estos sectores ha generado que continúe la afectación en componentes ambientales como el aire, el cual se muestra en los informes del Organismos de Fiscalización Ambiental (OEFA), cuyos de datos son de ante y durante la pandemia.

Las incidencias del primer trimestre del año actual, son respecto a los componentes ambientales de aire y suelo, de acuerdo a las denuncias ambientales realizadas a OEFA (2020).

Las alertas ambientales emitidas, en el segundo trimestre (abril – junio) son reportadas al componente ambiental aire, con 90 alertas ambientales, generadas por material particulado y SO<sub>2</sub> (2020).

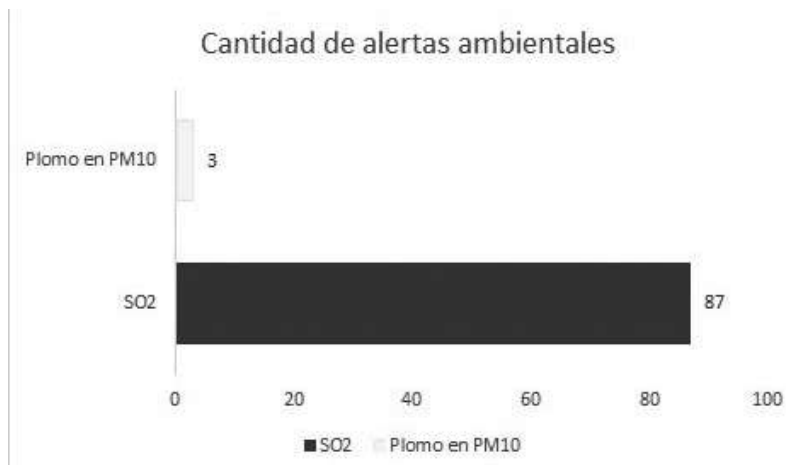
Varios acontecimientos y estudios indican impactos positivos sobre la naturaleza, ya sea la mejora de la calidad del aire y del agua, la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), la disminución del uso de combustibles fósiles y de la contaminación acústica (Patel, 2020), por ello se deben tomar acciones para disminuir los problemas en los niveles de contaminación del aire (Torres & Landines, 2020).

**Figura N.º 10:** Denuncias Ambientales por Componentes Ambientales, enero-marzo 2020



Fuente: OEFA, 2020.

**Figura N.º 11:** Alertas Ambientales, enero-marzo 2020.



Fuente: OEFA, 2020.



## CONCLUSIONES

Conforme se reactive la actual economía basada en combustible fósiles y se aumenten los niveles de producción y consumo, las emisiones de gases contaminantes podrían incrementarse compensando, o incluso sobrepasando las reducciones logradas durante el confinamiento, generando un “efecto rebote” que podría tener un gran impacto ambiental

La conservación de la biodiversidad y los ecosistemas ofrecen diversos servicios al conjunto de las actividades económicas y humanas, llamados servicios de regulación, que son necesarios para la producción de todos los servicios ecosistémicos, como la calidad del aire.

Las variaciones culturales han sido evidentes en las reacciones de las personas a las medidas de control en respuesta a la creciente pandemia de COVID-19.

Se deben tomar acciones para disminuir los problemas en los niveles de contaminación del aire, teniendo en cuenta que las personas que habitan en ciudades con mayor índice de contaminación, son más propensas de contraer enfermedades respiratorias.

Esta plaga del coronavirus ha sacado a luz otras verdades como son el papel de la industria y la sociedad en acciones que contaminan ríos lagos y mares, la indiferencia en la sociedad; se ha globalizado el planeta de manera increíble, y cada segundo sabemos cuántos casos nuevos de coronavirus hay, y cuántos muertos hay día a día.

## BIBLIOGRAFÍA

- Becker, S., & M. Soukup, J. (2010). Journal of Toxicology and Environmental Health. Obtenido de EXPOSURE TO URBAN AIR PARTICULATES ALTERS THE MACROPHAGE-MEDIATED INFLAMMATORY RESPONSE TO RESPIRATORY VIRAL INFECTION: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/009841099157539>
- BID. (Marzo de 2020). Banco Interamericano de Desarrollo. Obtenido de Tablero de Impacto del Coronavirus: <https://www.iadb.org/es/topics-effectiveness-improving-lives/coronavirus-impact-dashboard>
- BID. (2020). Banco Interamericano de Desarrollo. Obtenido de ¿Qué nos dice la calidad del aire sobre la respuesta de América Latina y el Caribe a la crisis del coronavirus?: <https://blogs.iadb.org/efectividad-desarrollo/es/que-nos-dice-la-calidad-del-aire-sobre-la-respuesta-de-america-latina-y-el-caribe-a-la-crisis-del-coronavirus/>
- Briz-Redón, Á., & Belenguer-Sapiña, C. (2020). University of Valencia. Obtenido de Changes in air pollution during COVID-19 lockdown in Spain: A multi-city study: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074220303405?via%3Dihub>
- Bustíos, C., & Martina, M. (2013). REVISTA PERUANA DE EPIDEMIOLOGÍA. Obtenido de Deterioro de la calidad ambiental y la salud en el Perú actual: <https://www.redalyc.org/pdf/2031/203128542001.pdf>
- CEPAL. (2020). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Obtenido de Efectos de las cuarentenas y restricciones de actividad relacionadas con el COVID-19 sobre la calidad del aire en las ciudades de América Latina: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45839/1/S2000476\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45839/1/S2000476_es.pdf)

- CEPAL. (2020). Organización Mundial de la Salud OMS. Obtenido de Efectos de las cuarentenas y restricciones de actividad relacionadas con el COVID-19 sobre la calidad del aire en las ciudades de América Latina: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45839-efectos-cuarentenas-restricciones-actividad-relacionadas-covid-19-la-calidad>
- Dawidowski, L., & Sánchez-Ccoyllo, O. (2014). SENAMHI. Obtenido de Estimación de emisiones vehiculares en Lima Metropolitana: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-6.pdf>
- EFE:Verde. (2020). Coronavirus Contaminación. Obtenido de Un grupo internacional investiga la relación entre la COVID-19 y la polución: <https://www.efeverde.com/noticias/investigacion-covid-19-polucion/>
- Gil, L., & Cáceres, D. (1997). Universidad de Chile. Obtenido de Contaminación del aire en espacios exteriores e interiores en la ciudad de Temuco: [https://www.researchgate.net/publication/270219042\\_Contaminacion\\_del\\_aire\\_en\\_espacios\\_exteriores\\_e\\_interiores\\_en\\_la\\_ciudad\\_de\\_Temuco](https://www.researchgate.net/publication/270219042_Contaminacion_del_aire_en_espacios_exteriores_e_interiores_en_la_ciudad_de_Temuco)
- Gonzales, G., & Zevallos, A. (2014). Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica. Obtenido de Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342014000300021](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342014000300021)
- León, D., & Cárdenas, J. (2020). Lecciones del COVID-19 para una agenda de sostenibilidad en América Latina & Caribe. Colombia: PNUD LAC C19 PDS No. 14 A.
- Lizcano, F., Acosta, E., & Girone, M. (2020). Revista Colombiana de Endocrinología Diabetes y

Metabolismo. Obtenido de Circunstancias ambientales que pueden haber influido en la pandemia por COVID-19: <http://revistaendocrino.org/index.php/rcedm/article/view/596/786>

Mylliyvirta, L. (Febrero de 2020). CarbonBrief. Obtenido de Analysis: Coronavirus temporarily reduced China's CO2 emissions by a quarter: <https://www.carbonbrief.org/analysis-coronavirus-has-temporarily-reduced-chinas-co2-emissions-by-a-quarter>

OEFA. (2020). OEFA en cifras. Obtenido de I Trimestre - 2020 Reporte Estadístico: [http://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=37812](http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=37812)

OEFA. (2020). OEFA en cifras. Obtenido de II Trimestre - 2020 Reporte Estadístico: [http://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=38240](http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=38240)

OMS. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Obtenido de Resumen de evaluación: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf?sequence=1)

OMS. (2016). World Health Organization. Obtenido de Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng>.



# LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA INDUSTRIA TEXTIL

Dr. Oscar Rafael Tinoco Gómez <sup>a</sup>  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Dra. Rosa Karol Moore Torres <sup>b</sup>  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

---

## Resumen

El sector textil y de confecciones, importante y representativo en la economía peruana, tanto por su tradición como por su aporte al PBI, con presencia en la grande, mediana y pequeña industria, en su esfuerzo por mayor competitividad tiene, todavía, comportamientos no muy amistosos con el ambiente, y, además, exhibe la no utilización de los residuos generados en la cadena productiva. Se impone, entonces, la aplicación del modelo de economía circular, como eje orientador para contrarrestar las emisiones tóxicas propias de las prácticas de elaboración de productos textiles, así mismo requiere la comprensión de la necesidad de interiorizar la economía circular en toda la cadena de valor de la industria textil y de la moda. Este artículo brinda una mirada acerca de la necesidad de implantar el modelo de economía circular en la cadena de valor de la industria textil y de la moda, culminando en un breve bosquejo de los esfuerzos, tanto del estado como del sector privado, por encaminarse bajo la perspectiva de economía circular.

**Palabras clave:** Economía circular, reciclaje, cadena de valor textil, residuo textil.

## Abstract

The textile and apparel sector, important and representative in the Peruvian economy, both for its tradition and for its contribution to GDP, with a presence in large, medium and small industries, in its effort to increase competitiveness still has not very good behavior. friendly to the environment, and also shows the non-use of waste generated in the production chain. Therefore, the application of the circular economy model is imposed, as a guiding axis to counteract the toxic emissions typical of the manufacturing practices of textile products, it also requires the understanding of the need to internalize the circular economy throughout the value chain. of the textile and fashion industry. This article provides a look at the need to implement the circular economy model in the value chain of the textile and fashion industry, culminating in a brief outline of the efforts, both by the state and the private sector, to move under the circular economy perspective.

**Keywords:** Circular economy, recycling, textile value chain, textile waste.

<sup>a</sup> Docente Principal FII UNMSM – [otinocog@unmsm.edu.pe](mailto:otinocog@unmsm.edu.pe)

<sup>b</sup> Docente UPG FII UNMSM – [kmoores@unmsm.edu.pe](mailto:kmoores@unmsm.edu.pe)

## 1. INTRODUCCIÓN

Entiempos actuales es menester impulsar la transformación de la sociedad en pos de una economía sostenible, es por ello la adopción del término economía circular como una nueva representación de modelo económico que se basa en la reflexión y reemplazo de modelos de consumo y producción prevalentes en la sociedad, con la finalidad de menguar los efectos contaminantes y de daños al ecosistema, así como su respectiva conservación. (Riba, Cantero, Canals, & Puig, 2020). El medio ambiente se encuentra expuesto a un alto nivel de contaminación debido a que el consumo energético mundial se basa en combustibles fósiles en un 85%. (Pluskal, Šomplák, Nevrlý, Smejkalová, & Pavlas, 2020)

Se conoce que la industria textil y confecciones constituye, actualmente, el segundo sector más contaminante del planeta. Pero no sólo ello, se alerta también que, a pesar de que es posible “reciclar o reutilizar cerca del 90% de las prendas, calzado y accesorios de moda que se tiran en la actualidad, sólo el 15% se recicla o se dona” (Farias, 2019).

En el Perú, las empresas textiles y de confecciones presentan problemas como débil gestión, tanto organizacional como productiva, ya que muchas de ellas no cumplen con las exigencias de calidad que solicita el mercado internacional (Tinoco, Tinoco, & Moscoso, 2016). Así mismo, Becerra & Carbajal, (2019) sostienen que las pequeñas y medianas empresas exportadoras del sector textil de prendas de vestir de tejido de punto de algodón actualmente presentan problemas como el incremento de los costos del proceso (15%) debido al número de defectos en el proceso de corte, así mismo la eficiencia estándar del proceso de desarrollo de producto en el Perú es del 67%, cifra muy por debajo de los establecido, el cual es del 80.44%, esto trae como consecuencia que se generen altos niveles de desperdicio.

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA Y ANÁLISIS SITUACIONAL

### 2.1. La Economía Circular

La economía circular propugna el alargamiento de la vida útil de los bienes, así como la disminución de residuos, de allí su necesidad de uso reiterativo, así como su respectivo aprovechamiento con la finalidad de que no pierdan valor. (Melgarejo, 2019; Carrillo 2019). La economía circular considera que los productos deben ser tratados al finalizar su vida útil conforme a su retorno del medioambiente, para ello se considera tres categorías: Primero, aquellos cuyo retorno al medio ambiente se da de manera inmediata, ya que son producto del uso de materias primas biodegradables. Segundo, aquellos cuya disposición en el medioambiente se hace más compleja como los que contienen componentes metálicos, eléctricos, por lo que deben ser dispuestos a un tratamiento de reincorporación al ciclo de producción para ser convertidos en un nuevo bien y así continúe su uso. Y, tercero, aquel producto que por su complejidad sólo puede ser expuesto al reciclaje bajo procedimientos que no dañen al medioambiente. Uno de los retos actuales es la identificación y el aprovechamiento de nuevas fuentes energéticas sostenibles para satisfacer la demanda de energía, la cual podría provenir de este tercer tipo de bien, menguando así el nivel de contaminación. (Pluskal et al., 2021)

Si bien es cierto en los últimos tiempos diversas actividades económicas como la agricultura, alimentación, y textil están implementando los principios de la economía circular, su desarrollo aún es incipiente. (Riba et al., 2020), de allí que surge la gestión de residuos como la panacea para reducir el alto nivel de contaminación debido a la adopción de técnicas y procedimientos sobre el re uso, recuperación y valorización energética de los productos considerados como desechos. (Pluskal et al., 2021)



## 2.2. Principios en los que descansa la economía circular

El modelo económico actual se basa en el supuesto que los recursos naturales existentes en el planeta son infinitos, de allí que prime el pensamiento de “tomar, usar y desechar” (Carrillo, 2019), de “extracción, producción, consumo y eliminación” (Melgarejo, 2019) o quizás en términos más explícitos “extracción de recursos, producción, uso y relleno sanitario” (Riba et al., 2020). La existencia de una clara discrepancia entre la economía neoliberal y el modelo de economía circular, se basa en que la primera no es sustentable (Riba et al., 2020), en la actualidad dicha teoría ha recibido innumerables críticas, siendo la más utilizada, la incapacidad de establecer un orden económico internacional justo, armónico y eficaz lo que ha generado un desequilibrio social y ambiental, en el plano social, las personas han sido afectadas especialmente en aspectos tan cruciales como el desempleo, el cual es un fenómeno que aqueja a nivel mundial a un sinnúmero de personas en todos los estratos económicos y en el plano ambiental, las altas tasa de contaminación ambiental en las que vive el planeta. Es por ello que la economía circular no es sólo reconocida como un modelo sino como una “herramienta estratégica” que permitiría el tránsito de la economía lineal a la economía del conocimiento, citando a Carrillo (2019): (...) implica transitar hacia a un modelo *“que es restaurativo y regenerativo por su diseño, y que tiene como objetivo mantener los productos, componentes y materiales en su estado de mayor utilidad y valor en todo momento, distinguiendo entre los ciclos técnicos y biológicos”*.

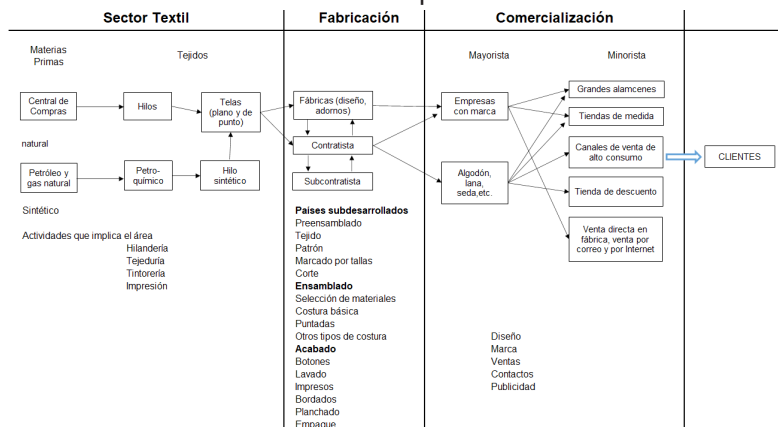
Hasta el momento, diversos autores difieren sobre los principios en los que descansa la economía circular, para Melgarejo (2019) ésta se debe basar en la eco-concepción del producto, la ecología industrial y territorial, la economía de la funcionalidad, la prevalencia del segundo uso, la reutilización, la reparación, el reciclaje y la valorización; mientras que para Carrillo (2019), los clientes deben ser considerados usuarios ya que debe prevalecer el uso del servicio mas que la posesión del bien, la toma de conciencia

de la empresa de que es responsable tanto de la producción de los bienes como de los residuos que genera, la filosofía cero desechos, lo que previamente conlleva a discriminar que los productos se van a clasificar al finalizar su vida útil en dos tipos de desechos: los biodegradables y los durables reutilizables, en cuanto a aquellos cuya complejidad no permite su rápida disposición deben ser desmantelados, para que cada pieza sea nuevamente clasificada en los dos tipos de desecho anteriormente mencionados. Cabe resaltar la importancia que tiene la economía circular para el planeta, Melgarejo (2019) sostiene que permite la sostenibilidad y conlleva a beneficios como el crecimiento económico, los ahorros netos de costos de materias primas; la creación de valor, la innovación, y el énfasis en la aplicación de nuevas tecnologías en la trazabilidad del producto.

### **2. 3. La cadena de Valor del Sector Textil y el cambio del modelo económico lineal al de economía circular**

El sector textil y moda comprende desde el diseño, fabricación, distribución hasta la comercialización de bienes expresado ya sea en fibras tanto naturales como sintéticas, telas como hilados y tejidos, y sus posteriores expresiones finales ya sea en indumentaria, calzado y accesorios (chalin, gorras, carteras, etc.). Para Carrillo (2019) la cadena de valor del sector textil está compuesta por seis (6) eslabones como son: la producción de fibras, la hilandería y tejeduría, la tintorería y acabados, la confección de bienes finales, la alta costura y los no tejidos (conversión de fibras a telas obviándose el eslabón de hilandería y/o tejeduría). En tanto Wong (2014) considera que la cadena de suministro de valor de la industria de la ropa está compuesta por actividades como : el diseño, la fabricación y la comercialización; cada una de ellas involucra recursos como materias primas y tejidos (ya sean de origen natural y/o sintético), procesos productivos (preensamblado, ensamblado y acabado), y actores dentro de los cuales destaca en la actividad de fabricación, la intervención de los contratistas y subcontratistas en países subdesarrollados. **Figura N.º 1.**

**Figura N.º 1.** Cadena de suministro de Valor de la Industria de Ropa



**Fuente:** Wong (2014).

La industria textil no ha estado exenta al impacto de la economía liberal, ya que ha impulsado el modelo consumista “Moda rápida” así como la búsqueda cada vez mayor de “bajos costos de producción”, conllevando a la predominancia del uso hoy, deshecho mañana, incrementando sobremanera los residuos textiles y sobre todo el desmesurado uso de productos en base a materiales sintéticos, además la tecnología ha tomado protagonismo de manera negativa a través del incentivo de las compras desmedidas, como expresión de ocio, por parte de los consumidores, en cifras, para el 2018, en México, el consumo de moda constituía el 8% de la canasta de la compra y el 4,6% de todo el e-commerce en el penúltimo trimestre de 2018 (Asirtex, 2019). Y, en cuanto a sus procesos de producción, los mismos, se encuentran comprometidos con la generación de emisiones tóxicas por el uso de sustancias químicas, Riba et al. (2020) hace alusión aproximadamente a 2450 sustancias diversas que son utilizadas en la industria textil, de las cuales el 47% corresponden a la categoría de peligrosas tanto para el ser humano como para el medio ambiente.

En el caso del sector textil, la transición de una economía

lineal a una circular implica la transformación en toda su cadena de valor el cual incluye el comportamiento de compra del consumidor lo que conlleva a un claro protagonismo de la innovación como eje orientador de dicho cambio (Melgarejo, 2019), la transformación del proceso productivo y del uso de los recursos involucrados en él, como el re uso del agua, el cuidado en la elección de materia prima utilizada como insumo, la cual debe ser elaborada bajo criterios de respeto al medioambiente y al ser humano, la disminución del consumo de plástico e inclusive verificar que los procesos involucrados en la comercialización de los productos neutralicen su huella de carbono como el transporte. (Carrillo, 2019). De allí la importancia de la aplicación del reciclaje como estrategia sostenible a largo plazo (Pluskal et al., 2021) y la reutilización de bienes textiles como la comercialización, el trueque o canje, el préstamo y/o alquiler, así como la donación, con su correspondiente incentivo de intermediarios finales como tiendas de segunda mano, organizaciones no gubernamentales con fines benéficos ventas de garaje, etc. (Riba et al., 2020)

#### **2.4. La economía circular y su vinculación con los Objetivos para el Desarrollo Sostenible en el ámbito textil**

Los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS), son un conjunto de 17 objetivos divididos en 169 metas aprobadas el 25 de setiembre del 2015 mediante Resolución por parte de la Asamblea General de la ONU, siendo considerados lineamientos para que los países puedan establecer las medidas necesarias para disminuir el cambio climático, la erradicación de la pobreza, y disminuir las desigualdades, se hace alusión a los ODS por su alta grado de vinculación con el modelo de economía circular, ya que su adopción implica impulsa el cumplimiento de siete (7) principios, como son: el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante), ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico), ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura), ODS 12 (Producción y consumo responsable), ODS 13 (Acción por

el clima), ODS 14 (contaminación marina y microfibras plástica) y ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres).

Cabe resaltar que dichos objetivos no tienen alcance jurídico-legal, por lo que está sujeto a la discrecionalidad de sus gobernantes el velar por su cumplimiento, de allí que los recursos carezcan de una mayor protección, y están sujetos a la depredación y/o contaminación debido a la facilidad de su acceso (Pluskal et al., 2021). Para Carrillo (2019) el recurso agua ha sido uno de los más afectados debido a los residuos generados en el proceso de transformación de la materia prima en producto textil terminado (genera el 20% de aguas residuales en el mundo), así como su utilización desmesurada, a modo de ejemplo la producción de un (01) kilo de algodón requiere 10 000 litros de agua para la confección de prendas de vestir. Dicha ausencia de desarrollo normativo trae como secuela la inexistencia de indicadores que permitan establecer claramente objetivos para la aplicación de estrategias como el reciclaje y la reutilización. (Asirtex, 2019)

## **2. 5. La generación Del Residuo Textil**

El Sector textil y de la moda hacen uso intensivo de recursos naturales y energía contribuyendo sobremanera a la generación de materia residual. Según (Shirvanimoghaddam, Motamed, Ramakrishna, & Naebe, 2020), un australiano promedio compra 27 kg de telas nuevas cada año (a base de un 63% de fibras sintéticas) de las cuales el 85% se destina a la basura, inclusive mencionan que en las últimas dos décadas se muestra un incremento del consumo medio anual de textiles de 7 a 13 kg por persona; entre tanto organizaciones como Asitex (2019), menciona que en México por cada habitante se genera entre 7 y 10 kg de residuo textil.

En la gestión de residuos existe el reconocimiento de términos como clasificación y reciclaje, entendiéndose al primero como la remoción de las partes no valiosas o también llamadas indeseables de los bienes desechados, y que no pueden ser recuperadas; en cuanto al reciclaje es

una etapa posterior a la clasificación donde se considera al material que puede ser nuevamente inserto al proceso productivo para su respectiva transformación. (Pluskal et al., 2021). En el ámbito textil el reciclaje conlleva al reprocesamiento de desechos para su posterior conversión en nuevos productos, cuyo fin podría ser el textil o no textil. Riba. et al., (2020) hace alusión al término "Rutas para el reciclaje textil" donde clasifica la conversión de estos desechos en tres grandes categorías: las químicas a través de la disolución de fibras naturales o despolimerización de fibras sintéticas; las mecánicas, que implica el pretratamiento de las prendas desechadas; y, las térmicas, que conlleva a la conversión del producto en fibras a través de un proceso de extrusión.

Para que el reciclaje sea considerado una estrategia efectiva se debe enfatizar en la creación de modelos y políticas que permitan una clasificación y recolección apropiada de los desechos textiles, así como evaluación de los costos que conllevaría la aplicación de las mismas. (Riba et al., 2020). El impacto del reciclaje no solo es en el medioambiente sino también eleva el nivel de empleabilidad, ya que con la incineración de prendas se genera un solo empleo, en cambio con el reciclaje se originan 100 empleos (Melgarejo, 2019) a pesar de ello existen marcadas diferencias en el reciclaje de los desechos textiles entre países como Alemania (65%) y México (5%) (Carrillo, 2019), el argumento pasa por varias aristas, desde el punto de vista empresarial (altos costos de producción y falta de incentivo de innovación), de la gestión del Estado (ausencia de políticas claras para el cuidado de sus recursos naturales y acciones sancionadoras del comportamiento dirigido al desperdicio de los mismos, así como la falta de inversión en estrategias para el aprovechamiento de los desechos) y desde el punto de vista social (falta del respeto y comprensión de que los recursos naturales están en un marcado proceso de extinción).

## **2.6. Factores impulsores de la transición a la economía circular en el sector textil**

Para Melgarejo (2019) la transición de una economía lineal a una economía circular debe ser impulsada a través de la eco innovación y del eco diseño, más aún en aquellas industrias donde el uso de recursos naturales se hace de manera intensiva. La eco-innovación se entiende a la innovación radical y continua de la organización en función a sus procesos, procedimientos y gestión organizacional para la generación de productos que no perjudiquen al medio ambiente. Este concepto es interesante, ya que conlleva la interrelación de aspectos ambientales, sociales, así como de empresa, de allí que su aplicación ha conllevado al desarrollo y reconocimiento de cuatro tipos de objetivos de innovación: “producto-innovación”, “rediseño de productos”, “innovación funcional” y “sistemas de innovación”. El eco diseño se entiende como la aplicación de técnicas y herramientas para el diseño de procesos y productos en función a su posible impacto medioambiental. (Salo, Suikkanen, & Nissinen, 2020) En tanto Carrillo (2019) sostiene que los factores impulsores hacia una economía circular serían cinco (5): la continuidad de la economía, la visión ecosistémica, la buena gobernanza, la innovación y el tránsito de consumidor a usuario.

## **2.7. La Micro y Pequeña empresa textil**

El sector textil y de confecciones es uno de los más importantes y representativos dentro de diversas economías tanto por su tradición como por su aporte a la economía nacional, en México aproximadamente 18,000 empresas son (PYMES), donde el sector moda y textil cobra protagonismo tanto por su aporte al Producto Bruto Interno, del 10% para el 2014, así como su nivel de empleabilidad a la mano de obra femenina en actividades como la manufactura (49.4%) y comercio (67.9%) (Carrillo, 2019).

En el Perú, el Ministerio de Producción reportó en el año 2015, que, del total de empresas registradas en su base de datos, el 95% eran microempresas, 4.3% pequeñas

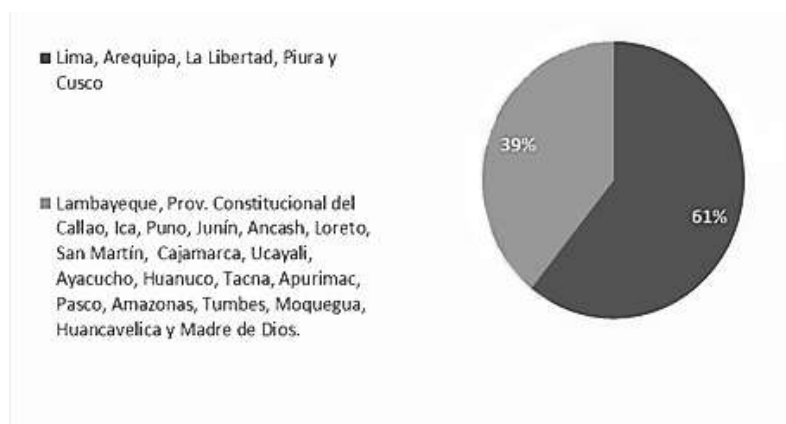
empresas, y el 0.2% pertenecían a la mediana empresa, esta clasificación se basa en función a dos criterios: el número total de trabajadores y niveles de ventas anuales. Las microempresas tienen en común denominador su origen y gestión familiar, además de presentar problemas en la administración de sus procesos especialmente los productivos, resalta además que el 16% de estas empresas se dedican a la confección de prendas de vestir. El 66.3% de las MiPymes peruanas se encuentran ubicadas en los departamentos de Lima, Arequipa, La Libertad, Cusco y Piura por su acceso a medios y canales que permiten el ingreso de materias primas así como la salida de productos terminados (Ccori & Asencios, 2018). Según el INEI, 2018, las municipalidades de los 26 departamentos del Perú, órganos responsables del recojo de desechos, reportaron en el año 2017, 22 mil 277 toneladas diarias en promedio diario de recojo de residuos sólidos, dentro de los cuales los departamentos donde priman las MiPymes son los que generan la mayor cantidad de desperdicios (61%) expresado en 13,546,315 ton/día de residuos sólidos (Figura 2), cuestión aparte es el destino de los desechos, ya que sólo el 4.8% (1 mil 79 toneladas) es reciclado en tanto que lo demás tiene como fin el relleno sanitario (52.8%), el botadero (41.9%), la incineración (0.4%) y otro (0,1%) (INEI, 2018).

En el Perú, el marco legal que regula aspectos relacionados al medio ambiente se encuentra expresado en la Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314) promulgada en el año 2000, la Ley que regula la actividad de los recicladores (Ley N° 29419) promulgada en el 2009 y el Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de Residuos de Aparatos eléctricos y electrónicos, si bien es cierto se han creado programas para la aplicación de manera sostenida de la reglamentación (Programa de Segregación en la fuente y Programa de Recolección selectiva de Residuos sólidos en viviendas urbanas), aún el Ministerio del Ambiente, órgano del Estado responsable de impulsar la gestión ambiental, no ha establecido lineamientos claros sobre el comportamiento no contaminante que deben tener las MiPymes.



Esta falta de claridad no ha permitido tener la certeza de la cantidad de deshecho que éstas generan, solo se cuenta con información brindada por las municipalidades que los residuos textiles en el Perú conforman el 1.61% (Herrera, Lazo, Mollo, & Vera, 2016), pero se contradice con las cifras mencionadas líneas atrás en relación a la cantidad de desperdicios recuperados por las municipalidades a nivel nacional especialmente en aquellos departamentos donde prima el desarrollo de actividades textiles, tanto productivas como comerciales, teniendo en cuenta además que la eficiencia estándar del proceso de desarrollo de producto en el Perú sólo es del 67% (Becerra & Carbajal, 2019) entendiéndose que el 33% restante genera desperdicio de recursos con una alta probabilidad de no ser reciclados. Esta ausencia de información conlleva además que no se puedan aplicar de manera eficiente los principios de la economía circular en las MiPymes y por lo tanto hacer uso de estrategias como el reciclaje y la reutilización, o de insertar conceptos como la eco innovación y el eco diseño.

**Figura N.º 2:** Distribución de cantidad promedio diaria de recojo de residuos sólidos (kilogramos) por departamento – Año 2017



**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística e Informática - Registro Nacional de Municipalidades 2018. Lima-Perú. Elaboración propia

### 3. EL CASO PERUANO

En el Perú la moda circular es aún incipiente. No obstante, existen diversas iniciativas que vinculan a varias empresas con emprendimientos basados en economía circular.

Entidades responsables	Año de inicio	Descripción
Programa "Segundo Vuelo" LATAM Airlines Perú, ONG Kani, Asociación de artesanas SISAN de Pachacamac	2018	Reciclaje de uniformes con el objetivo de convertirlos en nuevos artículos: carteras, estuches, billeteras, morrales, etc.
Boutique Las Traperas	2019	Alquiler y venta de ropa de segundo uso. Lema: "Lo que no te queda a ti, me queda a mí".
Textil Amazonas	2019	Programa de reciclaje de agua de los diferentes procesos a los que son sometidas las fibras de algodón, además de otros proyectos para reciclaje de papel y conos de hilo.
Sudamericana de fibras	2018	Programa de reducción de la huella hídrica
Empresa Circular en alianza con Textil Muchik	2018	Producción y comercialización de ropa hecha con de materiales reciclados.
Fair Cluster de moda sostenible	2020	Desarrollo de una línea de negocio basada en los principios de la Economía Circular

**Fuente:** Elaboración propia

A nivel del estado peruano se han dado pasos importantes, que denotan sus esfuerzos por atender los retos de la sostenibilidad y el cuidado del ambiente en todos los sectores productivos y de servicios.

El Decreto Supremo N° 003-2020-PRODUCE, emitido en febrero del 2020, establece la "Hoja de Ruta hacia una Economía Circular en el Sector Industria", la misma que

forma parte dentro de la Política Nacional de Competitividad y Productividad 2019-2030.

Esta Hoja de Ruta establece acciones a corto (un año), mediano (tres años) y largo plazo (cinco años). Se sustenta en cuatro enfoques, orientados a proporcionar las condiciones para que las empresas migren progresivamente al modelo circular:

- Producción industrial sostenible;
- Consumo sostenible;
- Aprovechamiento de material de descarte y gestión de residuos industriales,
- Innovación y financiamiento.

#### **4. CONCLUSIONES**

El modelo de economía circular surge como un paradigma para lograr la convivencia equilibrada entre el ser humano y el medio ambiente que lo rodea.

El sector textil y moda, es una de las actividades económicas de mayor relevancia a nivel mundial, por su contribución al Producto Bruto Interno y la empleabilidad de la mano de obra, pero que así mismo contiene procesos operativos y prácticas gerenciales que potencian la contaminación ambiental, esta situación sea aún más tangible cuando se analiza el comportamiento de las Mipymes.

Es necesario que se impulse la gestión del sector textil y de modas bajo cánones de economía circular, para ello se debe contar con información detallada sobre la cantidad de desecho generado en la cadena de valor del sector en estudio, la cual debería ser acompañada con un marco legal regulatorio en materia ambiental dirigido especialmente para este tipo de empresas.

La economía circular en el Perú es todavía incipiente. Tanto el sector público como el privado vienen dando pasos importantes para su desarrollo.

La Academia tiene un rol importante en este proceso, tanto en el proceso formativo de profesionales comprometidos con el cuidado ambiental, como en el desarrollo de investigación básica y aplicada que la sustente.

## REFERENCIAS

- Asirtex. (2019). El Residuo Textil Municipal: La realidad desconocida. Valencia. Retrieved from <https://www.asirtex.org/documentospublicaciones/>
- Becerra, K., & Carbajal, X. (2019). Propuesta de implementación de herramientas lean: 5s y estandarización en el proceso de desarrollo de producto en pymes peruanas exportadoras del sector textil de prendas de vestir de tejido de punto de algodón. UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS. <https://doi.org/10.19083/tesis/625143>
- Carrillo, J. (2019). Promoción de la economía circular en el sector moda y textil en México. México. Retrieved from [https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2019/08/CEM\\_moda\\_publicación.pdf](https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2019/08/CEM_moda_publicación.pdf)
- Ccori, S., & Asencios, T. (2018). Diagnóstico del sector textil de las micro, pequeñas y medianas empresas (Mipymes) en el distrito de la Victoria-Lima metropolitana. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <https://doi.org/10757/623807>
- Herrera, Á., Lazo, A., Mollo, G., & Vera, M. (2016). Planeamiento Estratégico de Gestión de Residuos en el Sector Textil Peruano. Pontificia Universidad Católica del Perú. CENTRUM. Retrieved from <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/8530>
- INEI. (2018). Perú: Indicadores de Gestión Municipal 2018. Perú: Indicadores de Gestión Municipal 2018. Lima. Retrieved from [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1636/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1636/libro.pdf)
- Farias, Gabriel (2019). La moda circular es el futuro. Revista Mundo Textil, Asociación Peruana de Técnicos Textiles, N° 159, pág 39-42, octubre 2019. Lima, Perú.

- Melgarejo, V. (2019). Economía Circular y la Industria Textil en el Paraguay. *Población y Desarrollo*, 25(49), 143–150. <https://doi.org/10.18004/pdfce/2076-054x/2019.025.49.143-150>
- Pluskal, J., Šomplák, R., Nevrlý, V., Smejkalová, V., & Pavlas, M. (2021). Strategic decisions leading to sustainable waste management: Separation, sorting and recycling possibilities. *Journal of Cleaner Production*, 278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123359>
- Riba, J. R., Cantero, R., Canals, T., & Puig, R. (2020). Circular economy of post-consumer textile waste: Classification through infrared spectroscopy. *Journal of Cleaner Production*, 272, 123011. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123011>
- Salo, H. H., Suikkanen, J., & Nissinen, A. (2020). Eco-innovation motivations and ecodesign tool implementation in companies in the Nordic textile and information technology sectors. *Business Strategy and the Environment*, 29(6), 2654–2667. <https://doi.org/10.1002/bse.2527>
- Shirvanimoghaddam, K., Motamed, B., Ramakrishna, S., & Naebe, M. (2020). Death by waste: Fashion and textile circular economy case. *Science of the Total Environment*, 718. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137317>
- Tinoco, O., Tinoco, F., & Moscoso, E. (2016). Aplicación de las 5S para mejorar la percepción de cultura de calidad en microempresas de confecciones textiles en el Cono Norte de Lima. *Industrial Data*, 19(1), 33–37. <https://doi.org/10.18109/ind.19.1.33-37>
- Wong, D. (2014). *Empresas Familiares: camino de exportación competitiva en mercados emergentes (1ra.)*. Lima: Universidad del Pacífico.

**Desafíos para el Ingeniero Industrial:  
Competencias Ambientales,**  
se terminó de imprimir en enero  
de 2021 por Imprenta & Moda E.I.R.L.  
para su línea Sistema Offset Editores

Publicado en enero de 2021

