



MINISTERIO DE
EDUCACIÓN



LED SERVICIO DE
LIECHTENSTEIN
PARA EL DESARROLLO



swisscontact

GUÍA TEMÁTICA

RESIDUOS SÓLIDOS

Versión preliminar de trabajo



Formación en
competencias
verdes

Créditos

Esta publicación se realizó con el apoyo financiero del Servicio de Liechtenstein para el Desarrollo (LED), en el marco del proyecto **“Formación en competencias verdes”**, ejecutado por Swisscontact.

La guía temática es el resultado de un proceso colaborativo de construcción colectiva y validación técnico-pedagógica, que contó con la participación de:

- Directores Departamentales de Educación y Subdirectores de Educación Superior de Formación Profesional de Potosí, La Paz y Santa Cruz.
- Directivos y docentes de los Institutos Tecnológicos Nuevo Amanecer, Potosí, Santa Cruz, INFOCAL Santa Cruz, Ayacucho y Mejillones.
- Representantes de empresas verdes y enverdecidas del sector productivo nacional.
- Profesionales especialistas de cada área temática.

Su contribución garantizó que los contenidos respondan a los estándares pedagógicos de la formación técnica superior y a las demandas del mercado laboral en las áreas estratégicas de Movilidad Eléctrica, Energías Renovables y Gestión de Residuos Sólidos.

El contenido de esta publicación refleja las voces de los actores y destinatarios del proyecto y no compromete la opinión de LED.

Swisscontact

Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico

Calle 15 de Achumani, esquina Iriarte casa # 5

Tel. +591 (2) 2775566

La Paz - Bolivia

www.formaciontecnicabolivia.org

www.swisscontact.org

Facebook: Formación Técnica Profesional Bolivia

Año: 2026

Documento de trabajo del proyecto FCV, sujeto a actualizaciones durante su implementación. Su distribución y uso está restringida a docentes de los Institutos Técnicos, autoridades y técnicos participantes del proyecto, hasta la aprobación de su versión final

Versión preliminar



CONTENIDO

1. Presentación	3
2. Contextualización - Residuos sólidos	4
2.1 ORIENTACIÓN AL CUMPLIMIENTO DE LOS ODS Y PDES	4
2.2 DIAGNÓSTICO DEL SECTOR DE RESIDUOS SÓLIDOS	8
3. Lineamientos para el uso de la Guía Temática	11
4. Competencias verdes en la formación técnica y tecnológica - Residuos sólidos	14
4.1 Matriz base de competencias del área estratégica de Residuos Sólidos	15
4.2 Matriz de Competencias Específicas por Carrera	18
5. Unidades temáticas y resultados de aprendizaje	21
GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN EL MARCO DE LA NORMATIVA AMBIENTAL	31
6. Contenidos	33
Unidad temática 1. Gestión de residuos sólidos y contaminación ambiental en el marco de la normativa ambiental	33
Unidad temática 2. Clasificación, caracterización y segregación de residuos	43
Unidad temática 3. Valorización y aprovechamiento de residuos	55
Unidad temática 4. Prevención de residuos, producción más limpia y análisis del ciclo de vida	97
Unidad temática 5. Manejo de residuos peligrosos y seguridad ocupacional	109
Unidad temática 6. Gestión integral de residuos y desarrollo sostenible	119
Unidad temática 7. Gestión integral de residuos e innovación tecnológica	129
7. Estrategias metodológicas generales	139
7.1 APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS (ABP)	139
7.2 ESTUDIO DE CASO	141
7.3 APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS (ABP)	142
7.4 APRENDIZAJE COLABORATIVO	143
8. Plan de acciones	145
CONCLUSIONES	146
9. Criterios de evaluación	147
10. Bibliografía	150

11. Anexos ----- 153

Anexo 1-----	153
Anexo 2-----	174
Anexo 3-----	190
Anexo 4-----	209
Anexo 5-----	227

Los desafíos ambientales de hoy exigen una sociedad responsable ante el consumismo, consciente del daño ambiental que genera y de su incidencia en el cambio climático. Por lo tanto, comprometida a desarrollar actividades dirigidas a reducir el impacto ambiental, promover el uso eficiente de recursos y ser partícipe del diseño e implementación de soluciones sostenibles.

El desarrollo industrial trajo consigo una mejora en la calidad de vida a través del crecimiento económico, la diversificación del empleo, la innovación e investigación tecnológica brindando bienestar y confortabilidad a la sociedad. No obstante, también conlleva efectos negativos como la pérdida de la biodiversidad por la deforestación y destrucción de hábitats naturales, la contaminación del aire y del agua así como el agotamiento de los recursos naturales. Estas consecuencias negativas y otras, como las del efecto invernadero por CO₂, fueron previstas desde mediados del siglo pasado, generando una necesidad urgente de revertir o disminuir el daño ambiental. Esta demanda actual, cada día más creciente por parte de la sociedad civil, lleva al compromiso de los diferentes Estados a desarrollar e implementar políticas efectivas para incentivar las Industrias Limpias, los Negocios Verdes, la transición energética a fuentes de energía renovable de uso eficiente, la gestión de residuos o la economía circular, entre otras medidas.

El resguardo del medio ambiente, sin interrumpir el desarrollo industrial y crecimiento económico, implica -como se expuso desde un inicio- un cambio conductual de toda la sociedad para la disminución de sus efectos y deterioro ambiental. La formación de competencias verdes tiene como finalidad integrar la sostenibilidad en cada actividad profesional para un actuar con responsabilidad ecológica.

Las competencias verdes son transversales a todos los sectores profesionales, por lo que dichos conocimientos, habilidades y actitudes son contempladas en el perfil profesional que las empresas e industrias de todo rubro requieren, poco a poco, con mayor interés y preferencia.

La Formación Técnica y Tecnológica, en el marco del Proyecto INNOTECH, integra competencias verdes, basadas en tres áreas estratégicas priorizadas: movilidad eléctrica, energías renovables y residuos sólidos. En este sentido, se actualizaron los Planes y Programas bajo un enfoque de competencias verdes.

La presente Guía Temática de Residuos Sólidos es una herramienta para las y los docentes del área tecnológica de los Institutos Técnicos y Tecnológicos. Tiene como propósito principal guiar en el proceso de formación y desarrollo de competencias verdes a partir de temáticas priorizadas en el área estratégica, articulando los diferentes elementos curriculares.

Contextualización - Residuos sólidos

2.1 ORIENTACIÓN AL CUMPLIMIENTO DE LOS ODS Y PDES

El análisis del manejo y la gestión de los residuos sólidos en nuestro país requiere situarse en el marco de los lineamientos de desarrollo sostenible que orientan las políticas a nivel global. En este sentido, resulta fundamental considerar los acuerdos, convenios y marcos normativos internacionales que han sido asumidos por el Estado Plurinacional de Bolivia en su condición de miembro de la comunidad internacional.

En el año 2015, la Organización de las Naciones Unidas estableció la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible como un marco integral orientado a mejorar las condiciones sociales, económicas y ambientales a nivel mundial. Esta agenda se estructura a partir de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales plantean una estrategia articulada entre políticas públicas, sector productivo, normativas, educación y cultura, con el propósito de garantizar un desarrollo sostenible y equilibrado.

En este contexto, la gestión integral de residuos sólidos adquiere un rol estratégico, al estar directamente vinculada con la reducción de impactos ambientales, la protección de la salud pública, el uso eficiente de los recursos y la promoción de la economía circular. En ese marco, a continuación, se identifican los Objetivos de Desarrollo Sostenible con relación directa y complementaria con el área de residuos sólidos, los cuales orientan acciones vinculadas a la reducción, reutilización, reciclaje, educación ambiental y gestión adecuada de los residuos.



Las metas específicas por ODS, relacionadas al área estratégica de residuos sólidos, son detalladas a continuación:

Cuadro 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible vinculados al área de Residuos Sólidos

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE VINCULADOS AL ÁREA DE RESIDUOS SÓLIDOS		
Nº ODS	OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE	METAS ESPECÍFICAS VINCULADAS A RESIDUOS SÓLIDOS
	Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.	3.9. De aquí a 2030, reducir considerablemente el número de muertes y enfermedades causadas por productos químicos peligrosos y por la contaminación del aire, el agua y el suelo.
	Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad; y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.	4.4. De aquí a 2030, aumentar considerablemente el número de jóvenes y adultos que tienen las competencias necesarias, en particular técnicas y profesionales, para acceder al empleo, el trabajo decente y el emprendimiento. 4.7. De aquí a 2030, asegurar que todos los alumnos adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible, entre otras cosas mediante la educación para el desarrollo sostenible y los estilos de vida sostenibles.
	Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible; y el saneamiento para todos.	6.3. De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.
	Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos.	8.4. Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente.
	Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.	9.4. De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales.
	Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.	11.6. De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.

	Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.	12.2. De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.
		12.4. De aquí a 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida.
		12.5. De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.
		12.8. De aquí a 2030, asegurar que las personas tengan la información y los conocimientos pertinentes para el desarrollo sostenible.
	Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.	13.3. Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático.
	Promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la diversidad biológica	Las metas planteadas tienen vinculación con el área de residuos sólidos porque su gestión integral adecuada repercutirá en la protección de ecosistemas frente a contaminación por residuos sólidos y degradación del suelo.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible-ODS se plasman también en el Plan de Desarrollo Económico y Social-PDES 2021-2025, denominado *“Reconstruyendo la Economía para Vivir Bien, Hacia la Industrialización con Sustitución de Importaciones”* (planificación a mediano plazo), el cual será modificado y ajustado por el órgano rector conforme las metas alcanzadas en la presente gestión.

En el siguiente cuadro se muestran las metas planteadas por cada Eje Estratégico, relacionadas al área estratégica de Residuos Sólidos, los cuales serán referentes:

Cuadro 2: Ejes estratégicos del PDES, vinculados al área de residuos sólidos

Nº EJE	Eje estratégico	Lineamiento de política (meta)	Resultados	Acciones
Eje 1	Reconstruyendo la economía, retomando la estabilidad macroeconómica y social	1.3. Devolver a la política social el carácter prioritario para el Estado, reduciendo la desigualdad económica, social y de género en el marco de la pluralidad.	1.3.3. Se ha avanzado hacia la universalización de los servicios básicos.	1.3.3.2 Gestionar y ejecutar programas de agua segura en áreas urbanas y en áreas rurales, en coordinación con todos los niveles del Estado.
Eje 5	Educación, investigación, ciencia y tecnología para el fortalecimiento y desarrollo de capacidades y Potencialidades productivas	5.2. Articular y promover la educación especializada, la investigación y la innovación tecnológica, orientada a fortalecer las capacidades y potencialidades productivas, con enfoque de identidad y promoción del consumo de la producción nacional.	5.2.1. Se ha desarrollado una educación técnica, tecnológica, productiva y científica, articulada al desarrollo productivo y tecnológico, para la sustitución de importaciones y el respeto a la Madre Tierra.	5.2.1.1. Integrar la educación y formación técnica, tecnológica y científica con el sector productivo e industrialización con sustitución de importaciones.
Eje 8	Medio ambiente sustentable y equilibrado en armonía con la madre tierra	8.3. Promover sistemas de vida con un medio ambiente saludable, protegido y equilibrado en armonía con la Madre Tierra.	8.3.1. Se ha promovido una mayor capacidad de gestión ambiental para un medio ambiente saludable, con calidad y menor contaminación.	8.3.1.2. Consolidar la gestión y promoción para la implementación de infraestructuras para aprovechamiento, disposición final e industrialización de los Residuos Sólidos y establecer el régimen de responsabilidad de los residuos post consumo, en armonía con la Madre Tierra.

Fuente: Extraído del Plan de Desarrollo Económico Social 2021-2025, Ministerio de Planificación del Desarrollo.

En el marco del diagnóstico desarrollado se ha establecido la articulación entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los Ejes Estratégicos y metas del Plan de Desarrollo Económico y Social (PDES), evidenciando que la gestión de residuos sólidos en el país se viene implementando en coherencia con lineamientos internacionales orientados al desarrollo sostenible.

No obstante, persisten desafíos estructurales que requieren la ejecución de acciones integrales y sostenidas, particularmente en el fortalecimiento de la gestión operativa, la ampliación de cobertura de servicios y la mejora de los procesos de aprovechamiento y disposición final. En este contexto, resulta fundamental promover la participación activa y responsable de la ciudadanía mediante prácticas conscientes de cuidado ambiental, así como consolidar el rol de las entidades públicas de los distintos niveles del Estado, garantizando una atención oportuna, coordinada e integral en la gestión de residuos sólidos. Para ello la formación de profesionales técnicos con conocimientos, habilidades y actitudes en desarrollo sostenible y economía circular es de alta relevancia.

2.2 DIAGNÓSTICO DEL SECTOR DE RESIDUOS SÓLIDOS

El manejo inadecuado de los residuos sólidos constituye uno de los principales problemas ambientales y sanitarios en Bolivia, generando impactos negativos en los ámbitos productivo, comercial y social, en función de las actividades que se desarrollan. Estos impactos afectan no solo la salud humana, sino también la calidad del aire, el suelo y las aguas superficiales y subterráneas, además de provocar el deterioro del paisaje natural y de los entornos urbanos.

En el marco normativo nacional, el Estado Plurinacional de Bolivia ha establecido lineamientos para la gestión integral de residuos sólidos. El Decreto Supremo N° 2954 dispone, en su Artículo 14, que el Ministerio de Educación, en coordinación con el Ministerio de Medio Ambiente y Agua y el Ministerio de Salud, debe incorporar contenidos educativos en gestión integral de residuos en el Sistema Educativo Plurinacional. Asimismo, el Artículo 15 establece la promoción de estrategias de sensibilización y educación ambiental orientadas a fortalecer prácticas sostenibles en instituciones públicas y privadas.

En este contexto, la formación profesional, tanto a nivel técnico superior como universitario, adquiere un rol estratégico al requerir la incorporación de contenidos curriculares vinculados a la gestión integral de residuos, el cumplimiento normativo y la responsabilidad ambiental. Esto permite formar profesionales capaces de responder a las demandas actuales del desarrollo sostenible y de implementar soluciones técnicas en sus respectivos ámbitos de desempeño.

Desde una perspectiva cuantitativa, la generación de residuos sólidos en Bolivia representa un desafío significativo. De acuerdo con datos del Ministerio de Medio Ambiente y Agua y reportes sectoriales, el país genera aproximadamente entre 7.000 y 8.000 toneladas de residuos sólidos por día, con una generación *per cápita* que oscila entre 0,48 y 0,56 kg por habitante/día, concentrándose cerca del 80 % en áreas urbanas.

En cuanto a la disposición final, se evidencia una limitada infraestructura adecuada. Según el Ministerio de Medio Ambiente y Agua, solo un porcentaje reducido de municipios cuenta con rellenos sanitarios que cumplen condiciones técnicas; mientras que la mayoría dispone sus residuos en botaderos a cielo abierto, generando impactos ambientales severos, tales como contaminación del suelo y agua, proliferación de vectores y emisiones de gases de efecto invernadero.

Respecto a la composición, más del 50 % de los residuos generados corresponde a materia orgánica, lo que representa una oportunidad para su aprovechamiento mediante procesos como compostaje; sin embargo, en ausencia de una adecuada gestión, estos residuos contribuyen a la generación de lixiviados y gases contaminantes.

La gestión del manejo y tratamiento también enfrenta limitaciones: solo un pequeño porcentaje de residuos se recolecta y trata correctamente, y menos del 3 % recibe manejo adecuado. El resto se acumula en lugares inadecuados o se quema, lo cual evidencia la

necesidad de fortalecer sistemas de separación en origen, recolección diferenciada y economía circular.

En el ámbito educativo, particularmente en los Institutos Técnicos y Tecnológicos, la generación de residuos sólidos está directamente asociada a las actividades prácticas desarrolladas en talleres, laboratorios y espacios de formación técnica. Estas actividades implican el uso de materiales diversos -metales, plásticos, aceites, reactivos químicos, entre otros- generando residuos específicos según cada especialidad. No obstante, se identifica que la gestión de estos residuos presenta debilidades, principalmente en la clasificación en la fuente, almacenamiento temporal y disposición final, lo que limita la implementación de prácticas sostenibles en el proceso formativo.

De acuerdo al diagnóstico realizado a las carreras priorizadas por el proyecto INNOTECH, se establece a continuación el detalle de los tipos de residuos generados por los Institutos Técnicos Tecnológicos, los cuales deben ser debidamente gestionados para su valoración y reutilización o su disposición final a través de las medidas de seguridad establecidas normativamente.

Tabla 11: Identificación de Residuos en los ITT

Carrera	Residuos generados
Mecánica automotriz	Chatarra metálica
	Aceites lubricantes desuso
	Trapos empetrolados
	Residuos comunes
Mecánica industrial	Virutas de acero
	Virutas de aluminio
	Escorias
	Residuos comunes
	Chatarra metálica
Sistemas informáticos	Residuos aparatos electricos electronicos
	Tomacorrientes quemados
	Cables
	Residuos comunes
Electromecánica	Cables
	Pilas
	Baterías
	Residuos comunes
Electrónica	Componentes, placas
	Circuitos
	Pilas y baterías
	Residuos comunes

Construcción civil	Restos de grava
	Restos de arena
	Escombros
	Envases de aditivos
	Probetas de laboratorios
	Residuos comunes
Área administrativa	Papel
	Carton
	Residuos comunes
Industria química	Vidrio
	Organicos
	Aguas residuales
	Botellas pet
	Bolsas de polietileno
	Residuos urbanos
Gastronomía	Botellas pet
	Bolsas de polietileno
	Vidrio
	Papel kraft
	Residuos organicos
	Residuos urbanos

En este contexto, se hace necesario fortalecer la incorporación de enfoques de gestión integral de residuos en la formación técnica, promoviendo competencias orientadas a la reducción, reutilización, reciclaje y disposición adecuada, en coherencia con la normativa vigente y los principios del desarrollo sostenible.

Lineamientos para el uso de la Guía Temática

La incorporación de competencias verdes en la formación Técnica y Tecnológica en Bolivia responde a la necesidad de formar profesionales capaces de coadyuvar activamente en la transición hacia una economía sostenible, a través de una educación que desarrolle una sensibilización climática y habilidades pertinentes planteadas en:

- La Agenda 2030 y Objetivos de Desarrollo Sostenible-ODS; el ODS 4.7. requiere que los Estados fomenten y garanticen que los estudiantes adquieran conocimientos y habilidades de desarrollo sostenible, entre otros; el ODS y 13.3. Educación dirigida a la mitigación del cambio climático, la adaptación al mismo y la reducción de sus efectos, expuestos a detalle en el acápite de contextualización.
- El Acuerdo de París (Art. 12), en cuanto a la Acción para el Empoderamiento Climático ACE.
- Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), referido a la integración de educación ambiental.

Dichos acuerdos internacionales y otros, en los que Bolivia asume compromiso, promueven que los Estados parte asuman acciones para la promoción, integración conocimientos teóricos y prácticos en los planes de estudio de educación superior para la educación ambiental.

En ese marco, Swisscontact propone la integración de contenidos verdes en los 12 Planes y Programas de Formación Superior Técnica y Tecnológica. Asimismo, se elabora la presente Guía Temática como herramienta de consulta académica para el personal docente de los Institutos Técnicos y Tecnológicos; este documento tiene las siguientes características:



En ese marco, a continuación, se establecen algunos criterios para la incorporación de las unidades temáticas y contenidos propuestos en la presente Guía Temática del área de residuos sólidos:

- Se establece que las Unidades Temáticas presentes en la Guía se encuentran desarrolladas como contenidos (programáticos y analíticos) en los Planes y Programas de las carreras priorizadas para el área de residuos sólidos, seleccionados conforme la naturaleza de la Carrera. No obstante, este documento presenta un orden lógico conforme las competencias profesionales que se desean alcanzar.
- La selección de las unidades temáticas que conforman la Guía y que serán desarrolladas en el aula, taller o laboratorio deberá realizarse de acuerdo con la naturaleza de la asignatura en la que se aplicará y en correspondencia con sus contenidos mínimos, garantizando su pertinencia técnica y académica. Los contenidos descritos deben adecuarse a la profundidad requerida por el año o semestre de formación de la carrera respectiva, siendo que el aprendizaje es gradual y progresivo.
- La incorporación de nuevas unidades temáticas y/o contenidos mínimos, propuestos en la presente Guía e incorporados en los Planes y Programas, requerirá ajustes en la planificación curricular en sus distintos niveles de concreción, a cargo de los Institutos Técnicos y Tecnológicos. Estos ajustes estarán orientados a una adecuada redistribución y dosificación de contenidos dentro de la carga horaria ya establecida por el Ministerio de Educación, sin que ello implique la ampliación de horas, si no basándose en los principios de flexibilidad y contextualización curricular y de la autonomía pedagógica del docente.
- Las unidades temáticas presentes deben tener un nivel de vinculación directa o indirecta con la asignatura priorizada. Asimismo, deberán ser contextualizadas a las características institucionales del Instituto Técnico y Tecnológico en cuanto al equipamiento, infraestructura y otros requeridos para una enseñanza de calidad, así como a las normativas locales y políticas de sostenibilidad planteadas por el ITT.
- Los contenidos de la Guía Temática deben ser actualizados de forma periódica en base a los cambios normativos, avances tecnológicos y las buenas prácticas del Instituto Técnico y Tecnológico.
- La evaluación de los aprendizajes debe basarse en evidencias de desempeño (informes, prácticas, proyectos y otros) considerando el manejo del procedimiento técnico, cumplimiento de especificaciones técnicas, principios de sostenibilidad y otros.
- Las asignaturas de Emprendimiento Productivo y Taller de Modalidad de Graduación, presentes en todas las carreras, no tienen un contenido específico propuesto en la presente Guía; no obstante, son el espacio articulador de conocimientos, habilidades y actitudes desarrolladas, por lo que las mismas deben orientar en su práctica la

temática de movilidad eléctrica, gestión de residuos sólidos y energías renovables como elementos básicos para un desarrollo sostenible y de protección ambiental.

- En ese entendido, la Guía Temática debe ser utilizada como un referente para la ampliación de contenidos mínimos pues su uso no es limitativo ni exclusivo. Asimismo, se la presenta para su uso con un criterio transversal aplicado en aulas teóricas, talleres, laboratorios u otros, constituyéndose así en un insumo base para el diseño o planificación de la clase.
- Con la finalidad de un uso adecuado, se presenta a continuación un cuadro detalle de los roles y responsabilidades que deben asumir los actores educativos para el desarrollo del área estratégica de Residuos Sólidos a partir de la presente Guía Temática:

Roles y responsabilidades para el uso de la guía temática	
Actores educativos	Roles y responsabilidades
Instituto Técnico Tecnológico	Realizar seguimiento a la incorporación de los Planes y Programas que integran los contenidos verdes. Promover el uso de la Guía Temática como una herramienta de mejora curricular para el personal docente. Facilitar y gestionar condiciones adecuadas para la aplicación plena de los contenidos verdes.
Docentes	Seleccionar, adaptar y contextualizar los contenidos de la Guía Temática según la naturaleza de la asignatura. Integrar actividades prácticas relacionadas al área estratégica. Evaluar los aprendizajes tomando en cuenta los criterios técnicos, normativos y ambientales.
Estudiantes*	Aplicar los conocimientos y habilidades en los contextos académicos y productivos, demostrando una actitud crítica y comprometida con el cuidado ambiental. Realizar el uso de adecuado de EPP en resguardo de su integridad personal y de su entorno, desarrollando los procesos conforme la normativa específica.

**Estudiantes: Si bien la Guía Temática es una herramienta para los docentes, los mismos deben promover el cumplimiento de los roles y responsabilidades señaladas por parte de sus estudiantes.*

Competencias verdes en la formación técnica y tecnológica - Residuos sólidos

La crisis climática ha permitido que muchos países cambien de paradigma, de una lógica de producción lineal a la incorporación de principios de economía circular, con base en tres principios: la reducción de producción de residuos disminuyendo la contaminación, el uso eficiente de productos y materiales, y la regeneración de los sistemas naturales. La economía circular permite el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030 a través de la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, la incorporación de Industrias Limpias, negocios y empleos verdes.

El manejo de residuos sólidos en nuestro país aún demuestra carencias en la implementación de un sistema de gestión integral efectivo que responda a las necesidades del contexto, debido a la ausencia de instrumentos normativos que orienten su manejo, la deficiente regulación e incentivo al sector productivo y empresarial, la insuficiente implementación de tecnología y equipamiento adecuado para su tratamiento y disposición final, la poca promoción de investigación e innovación tecnológica para la transformación con criterios de economía circular, entre otros factores. No obstante, existen iniciativas concretas de los actores tanto públicos como privados de incorporación de un sistema integral de residuos sólidos que, si bien muestran buenos resultados a pequeña escala, aun presentan desafíos en las actividades de aprovechamiento de materiales a través del reciclaje y compostaje, y la disposición final en vertederos y rellenos que se encuentren adaptados a las necesidades de la región.

La gestión integral de residuos sólidos, los rellenos sanitarios y el compostaje son temas que hoy prevalecen en el debate académico y laboral de nuestro país. No obstante, sus avances aún son lentos; por lo tanto, la sensibilización sobre la temática, así como el desarrollo de habilidades específicas para coadyuvar en la gestión integral de residuos sólidos son responsabilidad del sector educativo en lo referido al desarrollo de competencias profesionales en las diferentes áreas de formación, coadyuvando así a la transición hacia una economía circular con un enfoque de inclusión, de género y empleo justo.

En cuanto al enfoque educativo, la Educación Superior en América Latina hoy asume la formación basada en competencias como un enfoque de enseñanza acorde a las necesidades laborales emergentes. La formación basada en competencias permite que el estudiante se constituya en el verdadero motor de su aprendizaje, desarrollando estrategias cognitivas que le ayuden a reflexionar sobre su propio aprendizaje, respondiendo a las problemáticas y necesidades de su contexto, contribuyendo al desarrollo social, cultural y económico, conforme las demandas laborales, con conocimientos, habilidades y actitudes acordes al campo ocupacional. En ese marco, las competencias verdes, de acuerdo al área estratégica de Residuos Sólidos, deben ser

transversales, permeando los diferentes planes y programas de las Carreras de Formación Superior Técnica y Tecnológica.

4.1 MATRIZ BASE DE COMPETENCIAS DEL ÁREA ESTRATÉGICA DE RESIDUOS SÓLIDOS

La Matriz de Competencias del área constituye un referente sectorial de formación técnica, equivalente a un estándar ocupacional del sector productivo, orientado a fortalecer la pertinencia del perfil de egreso frente a las demandas actuales del mercado laboral y a los desafíos de la transición energética y sostenibilidad ambiental. En consecuencia, dicha matriz no corresponde a una carrera o asignatura específica ni debe ser desarrollada de manera independiente por un solo docente.

A partir de la Matriz de competencia del área se delimitó una Matriz de competencias por Carrera, rescatando las unidades de competencia definidas en la matriz base, acordes al desempeño profesional de cada carrera. Las competencias integrales estarán presentes en los Planes y Programas de las Carreras respectivas y el estudiante las alcanzará progresivamente, a lo largo del proceso formativo, mediante la articulación de varias asignaturas y espacios de práctica.

En ese entendido y para efectos curriculares, se establecen tres niveles de aplicación de la Matriz de Competencia:

- **Nivel institucional (referencial):** La Matriz Base de Competencias del área de residuos sólidos cumple una función orientadora y justificativa, vinculando la formación técnica con el sector productivo, los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el PDES. Este nivel define el marco de desempeño profesional esperado del egresado.
- **Nivel de carrera (perfil profesional):** Cada carrera incorpora únicamente las competencias específicas que le corresponden según su ámbito de desempeño ocupacional. Estas competencias constituyen la adaptación profesional de la matriz sectorial y forman parte del perfil de egreso ampliado de la carrera. En este nivel no se incluyen todas las unidades de competencia sectoriales, sino únicamente aquellas coherentes con el campo ocupacional del técnico, las cuales estarán presentes en los Planes y Programas de las carreras respectivas.
- **Nivel de asignatura (programa analítico):** Las asignaturas no desarrollan por sí solas una unidad de competencia completa. Cada asignatura aporta al logro de las competencias del perfil mediante resultados de aprendizaje específicos, acordes a su naturaleza formativa. Por tanto, el docente debe identificar y desarrollar los contenidos, prácticas y actividades que contribuyan parcialmente al logro de dichas competencias, para lo cual se realizó la integración de contenidos verdes en las asignaturas pertinentes, los cuales están ampliamente desarrollados en la presente Guía Temática.

En consecuencia, la integración de contenidos verdes se concibe como un proceso transversal, progresivo y articulado, donde el estudiante construye la competencia profesional a partir de la integración de conocimientos teóricos, prácticas de laboratorio, experiencias de taller y actividades de aplicación en diferentes asignaturas, evitando la duplicidad de contenidos y la sobrecarga curricular. El éxito de este proceso requiere que el docente desarrolle los contenidos disciplinares de su área y los contextualice mediante ejemplos, prácticas o aplicaciones relacionadas con la sostenibilidad, la eficiencia energética y la seguridad ambiental, de acuerdo con el aporte formativo que su asignatura puede realizar al perfil profesional del estudiante.

Conforme a lo descrito en el párrafo precedente, se establecen las unidades de competencia del área de Residuos Sólidos, entendidas como bloques formativos que integran el saber (conocimientos), el saber hacer (habilidades) y el saber ser (actitudes profesionales), orientados al desempeño de funciones específicas en contextos productivos. Estas unidades se estructuran en respuesta a la problemática nacional vinculada a la gestión integral de residuos sólidos, las necesidades de formación alineadas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las demandas del mercado laboral, con el propósito de formar profesionales capaces de gestionar residuos en entornos de producción limpia, promoviendo la economía circular y la reducción de residuos en los procesos productivos.

El siguiente gráfico delimita los ámbitos de desempeño del área estratégica de Residuos Sólidos:

Gráfico 1: Ámbito de Desempeño- Residuos Sólidos



Matriz base de competencias - movilidad eléctrica						
Problemática del sector	Necesidades macro de formación (ods)	Necesidades del mercado laboral	Ámbito de desempeño	UCB	Unidad de competencia (funcional-laboral)	Enfoque técnico verde
Deficiente selección y clasificación de residuos en los espacios, industrias, comercios, domicilios y otros donde se generan, así como bajo nivel de cultura ambiental y ciudadana.	Producción y consumo responsables, educación ambiental (ODS 4, ODS 12, ODS 5).	Técnicos capaces de aplicar y promover la segregación de residuos.	Segregación y manipulación segura.	UCB-1	Aplicar procedimientos de segregación, almacenamiento y manipulación segura de residuos sólidos conforme a normativa vigente, criterios de gestión integral y articulación de diversos actores, demostrando un trato inclusivo y compromiso con la salud pública y el desarrollo sostenible.	Prevención y minimización de residuos.
Baja valorización de residuos sólidos al no existir políticas formales que incentiven su aprovechamiento económico.	Economía circular y empleo verde (ODS 8, ODS 12, ODS 13, ODS 5).	Técnicos que conocen de reciclaje, compostaje y aprovechamiento dentro de su sector.	Valorización y aprovechamiento de residuos.	UCB-2	Gestionar los residuos sólidos generados en procesos industriales y de servicios mediante su identificación, clasificación y valorización a través de prácticas de reciclaje, reutilización y compostaje, aplicando criterios de seguridad y economía circular y actuando con iniciativa, responsabilidad ambiental y enfoque de inclusión social.	Economía circular.
Manejo inadecuado de residuos especiales y peligrosos en los procesos productivos e industriales sin criterios de prevención de riesgos en la salud pública y ambiental.	Salud, ambiente y trabajo seguro (ODS 3, ODS 8, ODS 12, ODS 5).	Personal técnico capacitado en manejo seguro.	Gestión de residuos especiales y peligrosos.	UCB-3	Aplicar procedimientos técnicos para el manejo seguro de residuos especiales y peligrosos, de acuerdo con normativa ambiental y de seguridad en los diferentes procesos productivos, demostrando una actitud preventiva, rigor técnico, uso adecuado de EPP y respeto por la integridad y salud de las personas.	Seguridad ambiental y ocupacional.
Debilidad institucional en los diferentes niveles del Estado (central, departamental y municipal) para una planificación de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), que repercuta también en condiciones laborales precarias para el personal que realiza esta actividad.	Gobernanza ambiental y fortalecimiento institucional; trabajo decente e inclusión social (ODS 8, ODS 10, ODS 11, ODS 16, ODS 5).	Técnicos de apoyo a la gestión municipal con enfoque social y organizativo.	Apoyo a la gestión integral de residuos sólidos, formalización del reciclaje e inclusión social.	UCB-4	Apoyar la implementación de planes y acciones de gestión integral de residuos sólidos, recopilando información técnica y operativa a través de la articulación técnica y organizativa del reciclaje para la promoción e incentivo de condiciones seguras y equitativas en la población, actuando con responsabilidad, trabajo colaborativo, respeto a la diversidad y enfoque de género.	Gestión ambiental local e inclusión de empleo verde.
Limitada innovación técnica aplicada a la gestión de residuos sólidos por parte del sector empresarial, productivo y educativo.	Innovación y desarrollo sostenible (ODS 4, ODS 9, ODS 12, ODS 5).	Técnicos con capacidades de mejora continua para la GIRS.	Investigación aplicada e innovación en residuos sólidos.	UCB-5	Proponer mejoras técnicas básicas en los procesos productivos e industriales, respondiendo a necesidades y problemáticas locales de residuos sólidos a través de procesos de investigación aplicada, innovación y emprendimiento productivo para la transición a una economía circular y sostenible, actuando con pensamiento crítico, actitud innovadora y compromiso con la protección de la salud y el medio ambiente.	Innovación ambiental.

4.2 MATRIZ DE COMPETENCIAS ESPECÍFICAS POR CARRERA

En concordancia con lo establecido en el acápite 4.1 -referido a la Matriz Base de Competencias del Área Estratégica de Residuos Sólidos- se establece la necesidad de delimitar competencias específicas por carrera, con la finalidad de asegurar la pertinencia técnica de la formación y su coherencia con el perfil profesional y el ámbito de desempeño de cada especialidad. En este sentido, las competencias específicas descritas en la siguiente matriz se incorporan de manera transversal al proceso formativo de las carreras tecnológicas priorizadas para el área: Mecánica Automotriz, Electrónica, Electromecánica, Electromecánica Industrial, Electricidad Industrial y Mecánica Industrial, Construcción Civil, Gastronomía, Sistemas Informáticos, Diseño Gráfico, Química Industrial e Industria Textil y Confección, conforme a lo establecido en la RM N° 350/2023. Su inclusión tiene por propósito garantizar que las y los estudiantes desarrollen competencias vinculadas a las funciones y actividades propias de su campo ocupacional, en respuesta a las demandas emergentes del área de Residuos Sólidos.

Asimismo, resulta necesario definir el nivel de competencias que puede alcanzar un Técnico Superior de las carreras señaladas en relación con el área de Residuos Sólidos. Para ello, se establece una estructura de categorías de calificación que permite delimitar el tipo de funciones que pueden desempeñar, los espacios de aplicación y el grado de complejidad de las intervenciones técnicas.

Esta estructura contempla cuatro niveles de intervención en residuos sólidos:

- **Nivel 1 – Conocimiento:** Corresponde al conocimiento de los principios, fundamentos y normativa básica de la gestión de residuos sólidos, incluyendo la identificación, clasificación y manejo inicial en diferentes contextos. Por lo expuesto, hace referencia a un nivel básico.
- **Nivel 2 – Aplicación:** Se orienta a la intervención técnica operativa, comprendiendo la aplicación de procesos de segregación, tratamiento y valorización de residuos mediante prácticas como reciclaje, reutilización y compostaje en entornos productivos o institucionales, constituyéndose en el nivel de desempeño esperado para el Técnico Superior, ya que es un nivel de aplicación.
- **Nivel 3 – Gestión:** Se relaciona con la gestión operativa ampliada, que implica la organización, supervisión y mejora de sistemas de manejo de residuos a nivel institucional o productivo, incluyendo la implementación de estrategias de reducción y aprovechamiento; sin embargo, su alcance depende de condiciones estructurales e institucionales que, conforme nuestro diagnóstico, no se encuentran aún consolidadas en el contexto nacional.
- **Nivel 4 – Diseño:** Implicaría funciones de alta complejidad vinculadas al diseño de sistemas integrales de gestión de residuos sólidos, formulación de políticas, planificación a gran escala y desarrollo de soluciones tecnológicas avanzadas;

competencias que generalmente corresponden a niveles profesionales especializados o de ingeniería.

En función de los parámetros señalados en el párrafo anterior, a continuación se presenta la información estándar de competencia, estableciendo los niveles de competencia, el campo ocupacional, la clase ocupacional y el rango de aplicación en los que se desarrollarán las unidades de competencia por carrera dentro del área de residuos sólidos. Esta estructura permitirá orientar el proceso formativo hacia el desarrollo progresivo de competencias técnicas pertinentes, en correspondencia con las demandas del sector productivo y los ámbitos reales de desempeño profesional.

ESTRUCTURA DE LAS CATEGORÍAS DE CALIFICACIÓN – RESIDUOS SÓLIDOS			
Nivel de competencia	Campo ocupacional	Clase ocupacional	Rango de aplicación
Nivel 1 X Nivel 2 ✓ Nivel 3 X Nivel 4 X	Mecánica Automotriz ✓ Electromecánica ✓ Electromecánica Industrial ✓ Electrónica ✓ Mecánica Industrial ✓ Electricidad Industrial ✓ Sistemas Informáticos ✓ Diseño Gráfico ✓ Gastronomía ✓ Química Industrial Industria Textil y Confección ✓ Construcción Civil ✓	• Clasificación de residuos en fuente ✓ • Manejo y segregación de residuos ✓ • Valorización de residuos (reciclaje, reutilización, compostaje) ✓ • Manejo de residuos industriales y de servicios ✓ • Implementación de prácticas de reducción de residuos ✓ • Gestión integral a gran escala X • Diseño de sistemas de tratamiento de residuos X • Diseño de tecnologías avanzadas para tratamiento de residuos (biogás, incineración, tratamiento químico-industrial) X • Evaluación de impacto ambiental a gran escala o elaboración de estudios especializados X	• Talleres y laboratorios ✓ • Instituciones educativas ✓ • Plantas industriales de tratamiento de residuos X • Sector productivo (industrial y manufactura) ✓ • Sector servicios ✓ • Gobiernos municipales X • Empresas de gestión de residuos a gran escala X

En este marco, a continuación se presenta la Matriz de Competencias por Carrera. Delimitar estas competencias permite precisar el alcance de la formación en cada especialidad, considerando la naturaleza de los perfiles profesionales y los ámbitos de desempeño de las y los técnicos superiores.

En este contexto, las competencias en el área de Residuos Sólidos se constituyen en conocimientos, habilidades y actitudes complementarias que fortalecen la formación integral del profesional, permitiéndole actuar en su campo de acción con criterios de sostenibilidad ambiental mediante la adecuada gestión de residuos sólidos.

De esta manera, se evita la generalización de contenidos y se garantiza que cada carrera incorpore aquellos saberes pertinentes a su ámbito de desempeño dentro del área de Residuos Sólidos. Las competencias descritas a continuación estarán integradas en los Planes y Programas de las Carreras, según corresponda.

Matriz de competencias específicas por carrera				
UCB*	Ámbito de desempeño	Carrera	UC	Competencia específica priorizada por carrera
UCB-1	Segregación y manipulación segura de residuos.	Diseño Gráfico	UC-1	Aplicar criterios de segregación y minimización de residuos en los procesos de diseño gráfico y producción visual, aplicando criterios de uso responsable de equipos, materiales e insumos gráficos, demostrando creatividad, compromiso ambiental y responsabilidad en el uso eficiente de recursos.
UCB-2	Valorización y aprovechamiento de residuos.	Industria Textil Confección	UC-2	Clasificar y valorizar residuos sólidos generados en procesos productivos textiles y de confección mediante prácticas básicas de reutilización y reciclaje, reintegrándolos al ciclo productivo, aplicando principios de producción limpia y criterios de calidad, actuando con iniciativa, responsabilidad ambiental y enfoque de economía circular.
UCB-1 UCB-2	Segregación y manejo de residuos de construcción/ Valorización y aprovechamiento de residuos.	Construcción Civil	UC-3	Aplicar procedimientos de segregación, almacenamiento y disposición de residuos de construcción y demolición, conforme la normativa ambiental vigente, el uso adecuado de EPP, identificando acciones pertinentes para la reducción de su generación y evaluando la factibilidad de reutilización de materiales, actuando con responsabilidad técnica, compromiso con la reducción del impacto ambiental y la generación de empleos verdes.
UCB-1	Segregación y aprovechamiento de residuos orgánicos/ Valorización y aprovechamiento de residuos.	Gastronomía	UC-4	Aplicar procedimientos de segregación, almacenamiento, manipulación de residuos orgánicos en los diferentes servicios gastronómicos, conforme normas de higiene e inocuidad, demostrando responsabilidad sanitaria.
UCB-2			UC-5	Aplicar técnicas de aprovechamiento y valorización de residuos orgánicos en los diferentes servicios gastronómicos y de cocina creativa, demostrando creatividad y promoviendo la producción sostenible.
UCB-2	Valorización y aprovechamiento de residuos.	Mecánica Industrial/ Electrónica/ Electromecánica	UC-6	Clasificar residuos sólidos generados en procesos industriales, aplicando procedimientos básicos de reciclaje, aplicando criterios para la valoración y el reaprovechamiento de materiales de acuerdo a normativa, así como principios de industria limpia y manejo seguro de residuos, actuando con criterio técnico, eficiencia productiva y compromiso ambiental.
UCB-3	Gestión de residuos especiales y peligrosos	Química Industrial	UC-7	Aplicar procedimientos técnicos industriales para el manejo seguro de residuos químicos y peligrosos a través del uso correcto de las EPP, considerando sus características físico-químicas y la normativa ambiental vigente, aplicando técnicas básicas de control de emisiones atmosféricas, efluentes líquidos y derrames químicos, actuando con rigor técnico y procedimental, compromiso con la salud de las personas y la reducción de la contaminación ambiental.
UCB-3	Gestión de residuos especiales y peligrosos	Mecánica Automotriz	UC-8	Aplicar procedimientos técnicos para el manejo seguro de residuos automotrices (aceites, filtros, baterías y otros) conforme a normativa ambiental y de seguridad, actuando con responsabilidad técnica, ética profesional y compromiso con la protección del medio ambiente.
UCB-4	Apoyo a la gestión integral de residuos sólidos	Sistemas Informáticos	UC-9	Coadyuvar en la gestión integral de residuos sólidos a través del desarrollo, diseño e implementación de sistemas, programas y/o herramientas informáticas de registro y control de información, permitiendo la toma de decisiones conforme las necesidades del contexto, actuando con ética profesional, responsabilidad, equidad de género y compromiso con la mejora ambiental.

* La Unidad de Competencia Base (UCB) es tomada como referencia para la formulación de Unidades de Competencia (UC) por carrera.

** La competencia UCB-5 debe ser trabajada e incorporada en todas las Carreras como parte de los lineamientos de investigación, innovación y emprendimiento productivo.

Unidades temáticas y resultados de aprendizaje

Los resultados de aprendizaje son el conjunto de conocimientos, actitudes, destrezas y habilidades específicas que el estudiante adquiere y aplica en una amplia gama de situaciones como resultado del proceso de enseñanza-aprendizaje. Según Coll (1992), desde un enfoque pedagógico constructivista, los resultados de aprendizaje o efectos deseables de la formación no se refieren únicamente a la adquisición de conocimientos específicos ni se definen como productos finales del aprendizaje, sino al desarrollo de destrezas cognitivas y motrices mediante un proceso de comprensión significativa, en el que los nuevos conocimientos se integran y relacionan con los saberes previos. Esta construcción de significados, generada a partir de los contenidos y las experiencias educativas, permite al estudiante transferir y aplicar los aprendizajes adquiridos en diferentes situaciones y contextos, evidenciando su capacidad para utilizar de manera pertinente los conocimientos, habilidades y actitudes desarrollados durante su formación.

La delimitación de los resultados de aprendizaje parte de las Unidades de Competencia, determinadas en el acápite precedente, como también de las Unidades Temáticas o Unidades de Aprendizaje, las cuales a lo largo del documento denominaremos como Unidades Temáticas, al ser el denominativo asumido en los Lineamientos Curriculares y los Planes y Programas de la Formación Superior Técnica y Tecnológica. Para el área de Residuos Sólidos se delimitaron las siguientes Unidades Temáticas:

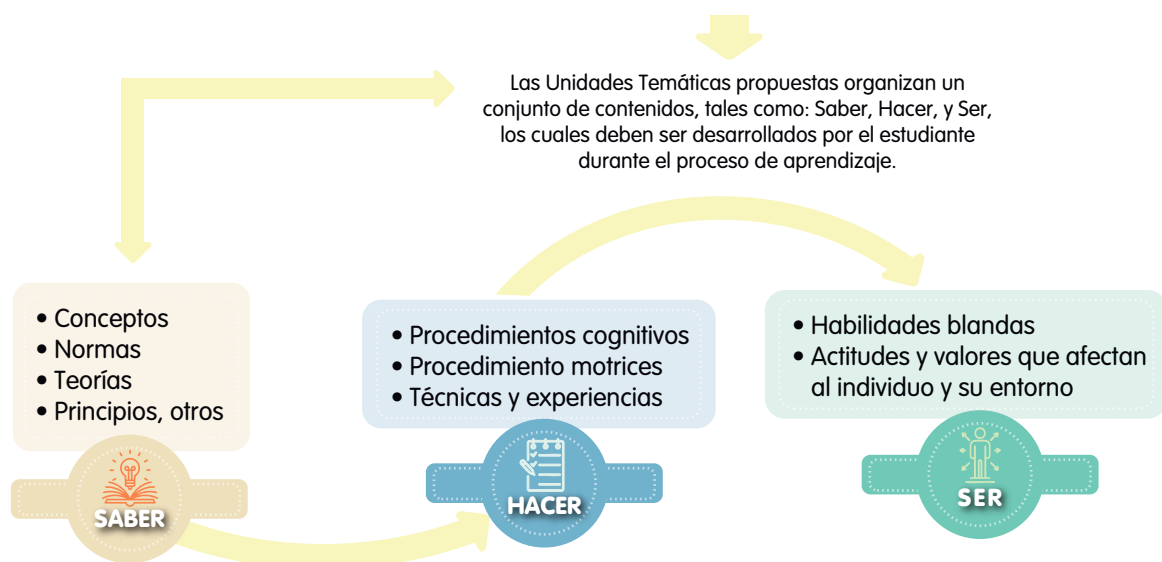
Nº	UNIDAD TEMÁTICA
1	Gestión de residuos sólidos y contaminación ambiental en el marco de la normativa ambiental
2	Clasificación, caracterización y segregación de residuos
3	Valorización y aprovechamiento de residuos
4	Prevención de residuos, producción más limpia y análisis del ciclo de vida
5	Manejo de residuos peligrosos y seguridad ocupacional
6	Gestión integral de residuos y desarrollo sostenible
7	Gestión integral de residuos e innovación tecnológica

En el siguiente cuadro se establece la vinculación entre las Unidades de Competencia por carrera y las Unidades Temáticas, necesaria para la formulación de contenidos (saber, saber hacer y saber ser) y los resultados de aprendizaje. Asimismo, se aclara que esta vinculación no limita la incorporación de otras temáticas específicas del área de Residuos Sólidos en los Planes y Programas de cada Carrera.

Cuadro 3: Vinculación unidades de competencia y unidades temáticas del área de residuos sólidos

Ámbitos de desempeño	Enfoque verde	Carrera	UC	Unidades de competencia	Nº UT	Unidad temática
Segregación y manipulación segura de residuos.	Prevención y minimización de residuos.	Diseño Gráfico	UC-1	Aplicar criterios de segregación y minimización de residuos en los procesos de diseño gráfico y producción visual, aplicando criterios de uso responsable de equipos, materiales e insumos gráficos, demostrando creatividad, compromiso ambiental y responsabilidad en el uso eficiente de recursos.	1	Gestión de residuos sólidos y con-taminación ambiental en el marco de la normativa ambiental.
					2	Clasificación, caracterización y segregación de residuos.
Centros de servicio de automotriz y laboratorios técnicos	Seguridad eléctrica y ocupacional	Mecánica Automotriz Electromecánica Electricidad Industrial Electrónica Mecánica Industrial	UC-2	Intervenir vehículos híbridos y eléctricos aplicando protocolos de seguridad de alto voltaje, bloqueo eléctrico, descarga de capacitores y uso de EPP especializado, demostrando actitud preventiva, disciplina y respeto por la igualdad de condiciones en el entorno laboral.	2	Clasificación, caracterización y segregación de residuos.
					3	Valorización y aprovechamiento de residuos.
					4	Prevención de residuos, producción más limpia y análisis del ciclo de vida.
Segregación y manejo de residuos.	Prevención y minimización de residuos/ Economía circular.	Construcción Civil	UC-3	Aplicar procedimientos de segregación, almacenamiento y disposición de residuos de construcción y demolición conforme la normativa ambiental vigente, el uso adecuado de EPP, identificando acciones pertinentes para la reducción en su generación y evaluando la factibilidad de reutilización de materiales, actuando con responsabilidad técnica, compromiso con la reducción del impacto ambiental y la generación de empleos verdes.	2	Clasificación, caracterización y segregación de residuos.
	Valorización y aprovechamiento de residuos.				3	Valorización y aprovechamiento de residuos.
Segregación y aprovechamiento de residuos orgánicos.	Prevención y minimización de residuos.	Gastronomía	UC-4	Aplicar procedimientos de segregación, almacenamiento, manipulación de residuos orgánicos en los diferentes servicios gastronómicos, conforme normas de higiene e inocuidad, demostrando responsabilidad sanitaria.	2	Clasificación, caracterización y segregación de residuos.
Valorización y aprovechamiento de residuos.	Economía circular.		UC-5	Aplicar técnicas de aprovechamiento y valorización de residuos orgánicos en los diferentes servicios gastronómicos y de cocina creativa, demostrando creatividad y promoviendo la producción sostenible.	3	Valorización y aprovechamiento de residuos.

Ámbitos de desempeño	Enfoque verde	Carrera	UC	Unidades de competencia	N° UT	Unidad temática
Valorización y aprovechamiento de residuos.	Economía circular.	Mecánica Industrial Electrónica Electromecánica	UC-6	Clasificar residuos sólidos generados en procesos industriales, aplicando procedimientos básicos de reciclaje, aplicando criterios para la valorización y reaprovechamiento de materiales de acuerdo a normativa, así como principios de industria limpia y manejo seguro de residuos, actuando con criterio técnico, eficiencia productiva y compromiso ambiental.	3	Valorización y aprovechamiento de residuos.
Gestión de residuos especiales y peligrosos.	Seguridad ambiental y ocupacional.	Química Industrial	UC-7	Aplicar procedimientos técnicos industriales para el manejo seguro de residuos químicos y peligrosos a través del uso correcto de las EPP, considerando sus características físico-químicas y la normativa ambiental vigente, aplicando técnicas básicas de control de emisiones atmosféricas, efluentes líquidos y derrames químicos, actuando con rigor técnico y procedimental, compromiso con la salud de las personas y la reducción de la contaminación ambiental.	4	Prevención de residuos, producción más limpia y análisis del ciclo de vida.
Gestión de residuos especiales y peligrosos.	Seguridad ambiental y ocupacional.	Mecánica Automotriz	UC-8	Aplicar procedimientos técnicos para el manejo seguro de residuos automotrices (aceites, filtros, baterías y otros), conforme a normativa ambiental y de seguridad, actuando con responsabilidad técnica, ética profesional y compromiso con la protección del medio ambiente.	5	Manejo de residuos peligrosos y seguridad ocupacional.
Apoyo a la gestión integral de residuos sólidos.	Gestión ambiental local e inclusión de empleo verde.	Sistemas Informáticos	UC-9	Coadyuvar en la gestión integral de residuos sólidos a través del desarrollo, diseño e implementación de sistemas, programas y/o herramientas informáticas de registro y control de información, permitiendo la toma de decisiones conforme las necesidades del contexto, actuando con ética profesional, responsabilidad, equidad de género y compromiso con la mejora ambiental.	6	Gestión integral de residuos y desarrollo sostenible.
					7	Gestión integral de residuos e innovación tecnológica.



A continuación, se describe el saber, hacer y ser de cada Unidad de Competencia; así como los resultados de aprendizaje, los cuales permitirán una adecuada planificación del docente y el establecimiento de criterios de evaluación.

Se establece que los resultados de aprendizaje aquí demostrados serán incorporados en los Planes y Programas, con el ajuste de redacción correspondiente, conforme las Unidades de Competencia vinculadas y pertinentes a la carrera.

Cuadro 4: Contenidos y resultados de aprendizaje de residuos sólidos

Enfoque técnico verde	Carrera	Contenidos por unidad temática				Resultados de aprendizaje
		UC	Saber	Hacer	Ser	
Segregación y manipulación segura de residuos.	Diseño gráfico	UC-1	• Tipos de residuos en diseño gráfico: papel, cartón, vinilos PVC, tintas solventes, envases químicos. • Propiedades de tintas (base agua vs. solvente) y su impacto ambiental. • Normativa ambiental para manejo de residuos gráficos. • Principios de eco-diseño y optimización de material (<i>layout</i> eficiente).	• Clasificar residuos gráficos por tipo y peligrosidad. • Segregar residuos en áreas de impresión (papel, químicos, plásticos). • Optimizar formatos de impresión para minimizar desperdicio. • Aplicar protocolos de disposición de tintas y solventes.	• Responsabilidad en uso de insumos. • Pensamiento sostenible aplicado al diseño. • Orden en el espacio de trabajo.	1. Identifica y clasifica los residuos generados en procesos de diseño gráfico (papel, tintas, plásticos, vinilos), conforme criterios técnicos y ambientales. 2. Aplica procedimientos de segregación en origen en talleres de diseño e impresión, optimizando el uso de materiales. 3. Analiza los impactos ambientales asociados al uso de insumos gráficos, proponiendo acciones de reducción de residuos. 4. Incorpora criterios de sostenibilidad en el diseño de productos gráficos, minimizando desperdicios.
Valorización y aprovechamiento de residuos.	Industria textil y confección	UC-2	• Tipos de residuos textiles: algodón, poliéster, mezclas, retazos. • Propiedades de fibras y su reciclabilidad. • Técnicas de reutilización (<i>upcycling, patchwork</i>). • Economía circular aplicada a la industria textil.	• Reconocer los residuos por tipo de fibra. • Separar retazos reutilizables. • Diseñar productos a partir de residuos. • Aplicar técnicas de reducción de desperdicio en corte.	• Creatividad productiva. • Conciencia ambiental. • Aprovechamiento eficiente de recursos.	1. Clasifica residuos textiles (retazos, fibras, telas defectuosas) según su potencial de aprovechamiento. 2. Aplica técnicas básicas de reutilización y reciclaje de materiales textiles en procesos productivos. 3. Evalúa alternativas de valorización de residuos textiles, integrándolos al ciclo productivo. 4. Aplica principios de economía circular para reducir desperdicios en procesos de confección.
Segregación y manipulación segura de residuos/Valorización y aprovechamiento de residuos.	Construcción civil	UC-3	• Residuos de construcción: hormigón, acero, madera, yeso, áridos. • Clasificación: inertes, reciclables, peligrosos. • Técnicas de reutilización (áridos reciclados). • Normativa de residuos de obra.	• Segregar residuos en obra por tipo. • Almacenar materiales reutilizables. • Identificar materiales reciclables. • Aplicar control de residuos en obra.	• Responsabilidad técnica. • Cumplimiento normativo. • Orden en obra.	1. Identifica y clasifica residuos de construcción y demolición (escombros, madera, metales, yeso) conforme normativa. 2. Aplica procedimientos de segregación y almacenamiento seguro en obra. 3. Evalúa la reutilización de materiales en función de criterios técnicos y ambientales. 4. Implementa prácticas de reducción de residuos en procesos constructivos.

Segregación y aprovechamiento de residuos orgánicos.	Gastronomía	UC-4	• Residuos orgánicos: restos vegetales, cármicos, aceites usados. • Residuos inorgánicos: plásticos, vidrio, latas. • Técnicas de compostaje. • Normas de higiene alimentaria. • Aprovechamiento culinario (fondos, subproductos).	• Segregar residuos en cocina. • Almacenar residuos orgánicos correctamente. • Elaborar compost básico • Reutilizar alimentos en preparaciones.	• Responsabilidad sanitaria. • Orden e higiene. • Creatividad culinaria sostenible.	1. Clasifica residuos generados en cocina (orgánicos e inorgánicos) conforme normas de higiene e inocuidad. 2. Aplica procedimientos de segregación en origen en áreas de preparación de alimentos. 3. Gestiona el almacenamiento adecuado de residuos orgánicos evitando contaminación.
Valorización y aprovechamiento de residuos.	Gastronomía	UC-5	• Aprovechamiento integral de alimentos. • Técnicas de valorización culinaria de subproductos (fondos, caldos, salsas base, fermentaciones básicas). • Gestión del desperdicio alimentario en cocina. • Principios de economía circular aplicados a servicios gastronómicos. • Costo y eficiencia en el uso de materias primas. • Fundamentos de economía circular.	• Aplicar técnicas de aprovechamiento de insumos (cáscaras, tallos, huesos, recortes). • Elaborar preparaciones base a partir de subproductos (fondos, purés, conservas, infusiones). • Diseñar platos o productos a partir de ingredientes subutilizados. • Implementar prácticas de reducción de desperdicio en procesos culinarios (aceites y grasas residuales). • Optimizar el uso de insumos en función de rendimiento y calidad.	• Creatividad culinaria aplicada al aprovechamiento. • Responsabilidad en el uso de alimentos. • Conciencia sobre desperdicio alimentario. • Enfoque en sostenibilidad y eficiencia.	1. Aplica técnicas de aprovechamiento integral de alimentos en la elaboración de preparaciones culinarias, optimizando el uso de materias primas. 2. Implementa prácticas de reducción del desperdicio alimentario en procesos de cocina, considerando criterios de eficiencia y calidad gastronómica. 3. Elabora preparaciones base y productos culinarios a partir de subproductos alimentarios, garantizando su inocuidad y valor gastronómico. 4. Diseña propuestas culinarias creativas utilizando ingredientes subutilizados o excedentes, incorporando criterios de sostenibilidad y economía circular..

Valorización y aprovechamiento de residuos.	Mecánica industrial electrónica electromecánica	UC-6	- Residuos industriales: metales, aceites, plásticos técnicos, cables. - Propiedades de reciclaje de metales y polímeros. - Producción más limpia. - Normativa ambiental industrial.	- Clasificar residuos industriales. - Segregar aceites y materiales peligrosos. - Aplicar reciclaje básico. - Optimizar uso de materiales. - Gestionar los gases contaminantes generados por proceso de soldadura.	- Responsabilidad técnica. - Eficiencia productiva. - Conciencia ambiental.	- Identifica y clasifica residuos industriales (metales, aceites, plásticos técnicos, cables) conforme normativa. - Aplica procedimientos de segregación y almacenamiento seguro de residuos en entornos industriales. - Implementa prácticas básicas de reciclaje y reutilización de materiales industriales. - Aplica criterios de producción más limpia para la reducción de residuos en procesos productivos. - Maneja adecuado de los gases contaminantes generados por procesos de soldadura.
Gestión de residuos especiales y peligrosos.	Química industrial	UC-7	- Residuos peligrosos: corrosivos, inflamables, tóxicos. - Hojas de seguridad (MSDS) - Normativa de residuos peligrosos. - Riesgos químicos.	- Identificar residuos peligrosos. - Aplicar protocolos de seguridad. - Almacenar correctamente. - Usar EPP adecuado.	- Rigor técnico. - Disciplina en seguridad. - Responsabilidad.	- Identifica y clasifica residuos peligrosos según sus características (toxicidad, inflamabilidad, corrosividad). - Aplica protocolos de seguridad para el manejo de residuos químicos peligrosos. - Gestiona el almacenamiento y disposición de residuos conforme normativa vigente. - Evalúa riesgos asociados a la manipulación de sustancias peligrosas en entornos industriales.
Gestión de residuos especiales y peligrosos.	Mecánica automotriz	UC-8	- Residuos: aceites usados, baterías, filtros, refrigerantes. - Contaminación por hidrocarburos. - Normativa ambiental automotriz.	- Clasificar residuos automotrices. - Almacenar aceites y baterías. - Evitar derrames. - Disponer residuos correctamente.	- Responsabilidad ambiental. - Orden en taller. - Ética profesional.	- Identifica residuos automotrices (aceites, baterías, filtros, refrigerantes) según su peligrosidad. - Aplica procedimientos de manejo seguro y almacenamiento de residuos automotrices. - Cumple normativa ambiental en la disposición de residuos peligrosos del sector automotriz. - Implementa prácticas de reducción y control de contaminación en talleres.
Apoyo a la Gestión Integral de Residuos Sólidos.	Sistemas informáticos	UC-9	- Sistemas de gestión de residuos. - Bases de datos ambientales. - Indicadores de generación de residuos. - Economía circular digital.	- Diseñar registros digitales. - Gestionar datos de residuos. - Generar reportes. - Apoyar toma de decisiones.	- Responsabilidad profesional. - Precisión en datos. - Ética digital.	- Diseña herramientas digitales para el registro y control de residuos sólidos. - Gestiona información para el monitoreo de generación y tratamiento de residuos. - Analiza datos para la toma de decisiones en gestión ambiental. - Apoya la implementación de sistemas de gestión de residuos mediante soluciones tecnológicas.

A continuación, se presenta la Matriz de Competencia por ámbito de desempeño, Carrera y Asignatura, en base a la cual las Unidades Temáticas se integrarán en los Planes y Programas de las Carreras priorizadas:

Centralizador de contenidos verdes incorporados				
Carrera	UC	UT	Año de formación	Asignatura
Sistemas informáticos	UC-9	1-2	Primer Año	Hardware de computadoras
	UC-9	7	Primer Año	Análisis de diseño de sistemas I
	UC-9	6	Primer Año	Gestión y mejoramiento de la calidad software
	UC-6	1	Primer Semestre	Seguridad industrial y medio ambiente I
	UC-6	4	Primer Semestre	Instrumentos y componentes
	UC-6	3	Cuarto Semestre	Mantenimiento de equipos electrónicos
Electromecánica	UC-6	1	Primer Semestre	Higiene, seguridad industrial y medio ambiente
	UC-6	4	Primer Semestre	Tecnología y taller mecánico I
	UC-6	2	Segundo Semestre	Soldadura I
	UC-6	5	Cuarto Semestre	Instalaciones eléctricas domiciliarias y domóticas
Química industrial	UC-7	1 - 4	Primer Año	Higiene, seguridad industrial y medio ambiente
	UC-7	2	Primer Año	Química orgánica
	UC-7	6	Segundo Año	Elaboración de productos químicos II
	UC-7	6- 7	Segundo Año	Emprendimiento productivo
	UC-7	2	Segundo Semestre	Química orgánica II
	UC-7	1- 4	Segundo Semestre	Higiene, seguridad industrial y medio ambiente
	UC-7	6	Tercer Semestre	Elaboración de productos químicos III
	UC-7	6- 7	Cuarto Semestre	Emprendimiento productivo I
Industria textil y confección	UC-2	1- 4	Primer Año	Seguridad industrial y medio ambiente
	UC-2	3	Primer Año	Química y pre-tratamiento textil
	UC-2	5	Primer Año	Mantenimiento de máquinas
	UC-2	2- 5	Segundo Año	Tinturas de fibras celulósicas, proteínicas y manufacturadas
	UC-2	3	Tercer Año	Estampado textil
	UC-2	6	Tercer Año	Taller de modalidad de graduación
	UC-2	10- 4	Primer Semestre	Seguridad industrial y medio ambiente
	UC-2	3	Segundo Semestre	Pre-tratamiento textil
	UC-2	5	Segundo Semestre	Mantenimiento de máquinas
	UC-2	2	Tercer Semestre	Tintura de fibras celulósicas
	UC-2	6	Quinto Semestre	Taller de modalidad de graduación
	UC-2	2	Sexto Semestre	Estampado textil

Construcción civil	UC-3	1	Primer Año	Seguridad industrial y medio ambiente
	UC-3	2	Primer Año	Materiales de construcción y procesos constructivos I
	UC-3	4	Primer Año	Mecánica de suelos II
	UC-3	3- 4	Segundo Año	Procesos constructivos II
	UC-3	4	Segundo Año	Tecnología de hormigón
	UC-3	6	Segundo Año	Costos y presupuestos
	UC-3	6	Segundo Año	Hormigón armado II
	UC-3	6-7	Tercer Año	Emprendimiento productivo
	UC-3	3 -5	Tercer Año	Obras viales
	UC-3	3	Tercer Año	Estructuras metálicas y de madera
	UC-3	1	Primer Semestre	Seguridad industrial y medio ambiente
	UC-3	2	Primer Semestre	Materiales de construcción
	UC-3	4	Segundo Semestre	Mecánica de suelos I
	UC-3	3 -4	Segundo Semestre	Procesos constructivos I
	UC-3	4	Tercer semestre	Tecnología de hormigón
	UC-3	6	Cuarto Semestre	Costos y presupuestos
	UC-3	6	Quinto Semestre	Hormigón armado II
	UC-3	3- 5	Quinto Semestre	Obras viales
	UC-3	7	Quinto Semestre	Emprendimiento productivo
	UC-3	3	Sexto Semestre	Estructuras metálicas
Mecánica industrial	UC-6	4	Primer Semestre	Seguridad ocupacional y medio ambiente
	UC-6	4	Tercer Semestre	Soldadura industrial II
	UC-6	6	Cuarto Semestre	Elementos y mecanismos de máquinas
	UC-6	3	Quinto Semestre	Procesos de manufactura y matriceria
	UC-6	6	Quinto Semestre	Diseño de máquinas
	UC-6	2	Sexto Semestre	Mantenimiento de equipos industriales
	UC-6	7	Sexto Semestre	Emprendimiento productivo II
Diseño gráfico	UC-1	1	Primer Año	Fundamentos de diseño
	UC-1	1	Segundo Año	Maquetacion eletrónica
	UC-1	4	Tercer Año	Sistema de impresión
	UC-1	2- 4	Tercer Año	Pensamiento creativo y prototipo
	UC-1	6	Tercer Año	Producción de prototipos

Mecánica automotriz	UC-6	1	Primer Año	Seguridad ocupacional y medio ambiente
	UC-6	4	Primer Año	Motores a gasolina I
	UC-6	2 -5	Primer Año	Fisicoquímico automotriz
	UC-6	2	Primer Año	Chapería y soldadura
	UC-6	5	Primer Año	Electrónica automotriz I
	UC-6	5	Segundo Año	Motores de diesel I
	UC-6	6 -7	Tercer Año	Taller de modalidad de graduación
	UC-6	1	Primer Semestre	Seguridad ocupacional y medio ambiente
	UC-6	4	Primer Semestre	Motores a gasolina
	UC-6	2- 5	Primer Semestre	Química automotriz
	UC-6	2	Segundo Semestre	Chapería y soldadura
	UC-6	5	Segundo Semestre	Electricidad automotriz II
	UC-6	5	Tercer Semestre	Motores de diesel I
	UC-6	6 -7	Sexto Semestre	Taller de modalidad de graduación II
Gastronomía	UC-4	4	Primer Año	Inocuidad alimentaria, seguridad ocupacional y medio ambiente
	UC-4	2 -4	Primer Año	Técnicas culinarias e historia de la gastronomía
	UC-4	2	Segundo Año	Panadería
	UC-5	1 -6	Segundo Año	Emprendimiento productivo
	UC-4	6	Tercer Año	Eventos, banquetes y garnish
	UC-5	3	Tercer Año	Cocina creativa

6.

Contenidos



UNIDAD TEMÁTICA 1



GESTIÓN DE
RESIDUOS SÓLIDOS
Y CONTAMINACIÓN
AMBIENTAL EN
EL MARCO DE LA
NORMATIVA AMBIENTAL

1. INTRODUCCIÓN

La asignatura Seguridad Industrial y Medio Ambiente para la Gestión de Residuos introduce al estudiante en los principios fundamentales de la prevención de riesgos laborales y la protección del medio ambiente, vinculados a las actividades productivas y al manejo de los residuos generados en los distintos procesos industriales y de servicios.

A través de un enfoque basado en competencias verdes, la asignatura promueve el desarrollo de conocimientos, habilidades y actitudes orientadas a la identificación de peligros, la evaluación de riesgos, la aplicación de medidas de seguridad y la gestión responsable de los residuos, considerando la normativa vigente y las buenas prácticas ambientales.

Esta inducción permite al estudiante comprender la relación entre seguridad, salud ocupacional y medio ambiente,

fortaleciendo una cultura de prevención, responsabilidad social y compromiso ético en el marco de los principios de objetivos del desarrollo sostenible, necesarios para un desempeño profesional seguro, eficiente y sostenible en el sector productivo.

2. ALCANCE TEMÁTICO DE LA NORMATIVA

El componente normativo relacionado con la Gestión Integral de Residuos constituye un eje transversal en las asignaturas de las diferentes carreras de los Institutos Tecnológicos, con la finalidad de fortalecer los conocimientos, habilidades y competencias orientadas al cumplimiento de la normativa ambiental aplicable y a la implementación de una adecuada gestión integral de residuos. Este componente será desarrollado en las siguientes asignaturas por carreras:

Tabla 2: Alcance de contenido Temático 1 en las Asignaturas de cada ITT

Carrera	Semestre/año	Asignatura
Gastronomía	Primer año	Inocuidad alimentaria, seguridad ocupacional y medio ambiente
Industria Textil y Confecciones	Primer año	Seguridad industrial y medio ambiente
Construcción Civil	Primer año	Seguridad industrial y medio ambiente
Diseño Gráfico		
Mecánica Industrial	Primer semestre	Seguridad ocupacional y medio ambiente
Sistemas Informáticos		
Química Industrial	Primer año	Higiene, seguridad industrial y medio ambiente
Mecánica Automotriz	Primer año	Seguridad ocupacional y medio ambiente
Electromecánica	Primer semestre	Higiene, seguridad industrial y medio ambiente

Los docentes podrán considerar el contenido de la Unidad Temática 1 para el desarrollo de sus actividades formativas, de acuerdo con las asignaturas descritas en la Tabla 1. Los temas abordados son de carácter general y permitirán fortalecer el proceso de enseñanza en cumplimiento de las leyes y reglamentos descritos en los incisos posteriores.

3. CONCEPTOS

Residuos

Materiales en estado sólido, semisólido o líquido generados como resultado de actividades de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuyo generador o poseedor decide o debe desechar. Estos materiales pueden ser susceptibles de aprovechamiento o requerir procesos de tratamiento o disposición final.

Basura

La basura se define como el conjunto de materiales, sustancias u objetos descartados por las actividades humanas porque ya no cumplen una función útil inmediata para quien los genera. Tradicionalmente, el término se asocia a residuos mezclados, sin clasificación ni posibilidad aparente de aprovechamiento, cuyo destino suele ser la disposición final (relleno sanitario, vertedero o botadero).

Tratamiento /Valorización de residuos

Conjunto de operaciones destinadas a transformar los residuos mediante métodos mecánicos, biológicos, físico-químicos o térmicos, con la finalidad de aprovechar los recursos contenidos en

ellos o reducir su peligrosidad. Comprende también las operaciones orientadas a su disposición final segura en rellenos sanitarios.

Disposición Final

Etapas de la gestión operativa de los residuos que consiste en su depósito permanente en un espacio físico destinado para tal fin, de manera técnica y ambientalmente segura.

Reducir, Reutilizar y Reciclar (3R)

Las 3R (Reducir, Reutilizar y Reciclar) constituyen un principio fundamental de la gestión integral de residuos y de la economía circular. Está orientado a disminuir el consumo de recursos naturales y la generación de residuos, así como a reducir los impactos ambientales asociados a las actividades humanas.

Generador de Residuos

Persona individual o colectiva, pública o privada, que genere residuos como resultado de sus actividades, consumo o producción.

Almacenamiento de Residuos

Etapas de la gestión operativa de los residuos en la que estos se mantienen temporalmente en recipientes o contenedores adecuados hasta su entrega al servicio de recolección para su posterior tratamiento, valorización o disposición final.

Pasivo Ambiental

Un pasivo ambiental es el daño o impacto negativo al medio ambiente generado por

actividades humanas pasadas o presentes (industriales, mineras, petroleras, agrícolas u otras) que no fue prevenido, mitigado o remediado oportunamente y que representa un riesgo para la salud humana, los ecosistemas o los recursos naturales.

Reciclaje

Proceso que se aplica al material o residuo para su reincorporación al ciclo productivo o de consumo como materia prima o nuevo producto.

Reciclaje Mecánico

Proceso de reciclaje que emplea operaciones físicas o mecánicas, manuales o asistidas por maquinaria, para separar, clasificar, triturar, lavar o acondicionar los residuos sin modificar su estructura química. Incluye procesos como el cribado, tamizado y separación mediante trómeles.

Reciclaje Químico

Proceso de reciclaje que utiliza reacciones o tratamientos químicos para modificar la estructura molecular de los materiales y convertirlos en materias primas o compuestos aptos para nuevos procesos productivos.

Reciclaje Energético

Proceso de valorización mediante el cual los residuos se utilizan como fuente de energía, recuperando su poder calorífico para la generación de calor, electricidad o combustibles.

Reciclaje Biológico

Proceso de reciclaje que utiliza microorganismos y otros procesos biológicos

naturales para transformar residuos orgánicos en productos aprovechables, como compost, abono orgánico o biogás.

4. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ASOCIADA A LA GENERACIÓN DE RESIDUOS

La inadecuada disposición de los residuos sólidos genera impactos ambientales negativos sobre los componentes del medio ambiente: el agua, el suelo y el aire.

La descomposición de la materia orgánica produce lixiviados que pueden incorporarse a las aguas superficiales o infiltrarse hasta alcanzar las aguas subterráneas, provocando su contaminación. Esto puede comprometer la disponibilidad del recurso hídrico para el consumo humano y el riego, además de generar impactos negativos sobre la flora y la fauna.

- La descomposición de la materia orgánica también genera metano (CH_4), un gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático. Asimismo, la quema incontrolada de residuos sólidos libera gases y partículas contaminantes que deterioran la calidad del aire y afectan la salud humana.
- La generación de lixiviados y su manejo inadecuado contaminan el suelo, alterando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que reduce su fertilidad y productividad.
- La disposición inadecuada, el abandono, la acumulación y la dispersión de residuos sólidos en los sitios de disposición final y sus áreas circundantes deterioran el paisaje, afectan la calidad visual del entorno y favorecen la degradación ambiental.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos puede ocasionar efectos adversos sobre la salud de la población, tanto de forma directa como indirecta, al favorecer la proliferación de vectores, animales e insectos, así como de microorganismos patógenos, cuando los residuos son dispuestos en el ambiente sin un control adecuado.¹

5 IMPACTOS AMBIENTALES, SOCIALES Y ECONÓMICOS DE LOS RESIDUOS

La generación y el manejo inadecuado de los residuos producen impactos ambientales, sociales y económicos que afectan el desarrollo sostenible. El crecimiento de la población, el aumento del consumo y la intensificación de las actividades productivas incrementan la cantidad de residuos generados, lo que plantea mayores desafíos para su gestión.

Cuando los residuos no son gestionados de manera adecuada, pueden ocasionar la contaminación del agua, el suelo y el aire, generar riesgos para la salud pública, deteriorar la calidad de vida de la población, afectar los ecosistemas y ocasionar pérdidas económicas derivadas de los costos de limpieza, remediación, atención sanitaria y desaprovechamiento de materiales con potencial de valorización.

5.1 Impactos ambientales

Los residuos mal gestionados producen contaminación del suelo, el agua y el aire, deteriorando los ecosistemas naturales. Entre los principales efectos se encuentran:

- Contaminación del suelo por acumulación de residuos y presencia de sustancias tóxicas.
- Contaminación del agua debido a lixiviados que se infiltran en el suelo y llegan a ríos, lagos o aguas subterráneas.
- Contaminación del aire por la quema de residuos o la emisión de gases generados en vertederos.
- Emisión de gases de efecto invernadero, como metano, que contribuyen al cambio climático.
- Afectación a la biodiversidad, ya que los residuos pueden dañar hábitats y provocar la muerte de fauna y flora.

Figura 1. Contaminación del agua debido a la descomposición de los residuos sólidos



Fuente: <https://www.iagua.es/blogs/javier-navarro/efecto-lluvias-desechos-solidos-iiiv-0>

5.2 Impactos sociales

La inadecuada gestión de residuos también genera problemas sociales y de salud pública, especialmente en comunidades cercanas a botaderos o zonas de disposición final. Entre los impactos más relevantes están:

- Riesgos para la salud humana, como enfermedades respiratorias, infecciones y proliferación de vectores (moscas, roedores).

¹ Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, DGGIR S. (2012). *Guía de educación ambiental en gestión integral de residuos sólidos*. MMAyA, Pg 14.

- Deterioro de la calidad de vida y del entorno urbano o rural.
- Afectación a comunidades vulnerables, particularmente a personas que trabajan de forma informal en la recolección de residuos.
- Conflictos sociales relacionados con la ubicación de rellenos sanitarios o instalaciones de tratamiento.

Figura 2: Inadecuada gestión de Residuos



Fuente: <https://correodelsur.com/sociedad/20250328/cochabamba-tribunal-agroambiental-exige-acciones-ante-acumulacion-de-basura.html>

Los efectos negativos para la salud por la inadecuada gestión de los residuos, están relacionados con las formas de exposición:

Tabla 3: Relación de exposición a los Residuos sólidos

Exposición directa	Exposición indirecta:
Por el contacto directo con los residuos que se encuentran mezclados entre orgánicos e inorgánicos (peligros y no peligrosos). Puede ocasionar lesiones, intoxicaciones, infecciones y otros daños a la salud durante su manipulación, recolección, transporte o disposición.	Relacionada con la proliferación de vectores (moscas, mosquitos y roedores), así como de microorganismos patógenos, incrementando el riesgo de transmisión de enfermedades y la aparición de problemas de salud pública.

Fuente: <https://es.scribd.com/document/560462663/RECURSO-DIA-4-Cuales-son-los-efectos-de-los-residuos-solidos-en-el-ambiente-04-11>

5.3 Impactos económicos

Los residuos también generan costos económicos significativos para los gobiernos, empresas y la sociedad cuando no se gestionan adecuadamente. Entre los principales impactos se incluyen:

- Altos costos de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos.
- Pérdida de recursos materiales que podrían recuperarse mediante reciclaje o reutilización.
- Costos asociados a la contaminación ambiental y a la atención de problemas de salud pública.
- Limitación del desarrollo económico local por la degradación ambiental y la reducción del valor del suelo o del potencial turístico.

En este contexto, el análisis de los impactos ambientales, sociales y económicos de los residuos permite comprender la importancia de implementar sistemas de gestión integral de residuos, promover la reducción en la fuente, el reciclaje, la economía circular y políticas públicas que fomenten una gestión sostenible de los desechos.

6 IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN ADECUADA DE RESIDUOS PARA LA SALUD PÚBLICA

La gestión adecuada de residuos es fundamental para proteger la salud pública, ya que los residuos mal manejados pueden convertirse en focos de contaminación ambiental y en fuentes de enfermedades para la población. A continuación, se explica su importancia desde diferentes aspectos:

6.1 Prevención de enfermedades

Cuando los residuos se acumulan sin control, se convierten en un ambiente propicio para la proliferación de vectores como moscas, mosquitos, cucarachas y roedores. Estos organismos pueden transmitir enfermedades como el dengue, la malaria, la leptospirosis o el cólera, afectando directamente la salud de las comunidades.

Tabla 4: Generación de Vectores en lugares de acopio inadecuado de residuos

VECTORES



Fiebre tifoidea
Salmonelosis
Disentería
Diarrea infantil
Cólera



Fiebre tifoidea
Gastroenteritis
Disentería
Diarreas
Lepra



Malaria
Fiebre amarilla
Dengue
Encefalitis



Peste bubónica
Tifus marino
Diarreas
Disentería
Rabia

Fuente: <https://es.scribd.com/document/560462663/RECURSO-DIA-4-Cuales-son-los-efectos-de-los-residuos-solidos-en-el-ambiente-04-11>

6.2 Protección de la calidad del agua, aire y suelo

Los residuos mal dispuestos pueden generar lixiviados que contaminan el suelo y las fuentes de agua superficiales y subterráneas. Asimismo, la quema de residuos produce gases tóxicos y partículas contaminantes que deterioran la calidad

del aire, provocando problemas respiratorios y otras afecciones en la población.

6.3 Reducción de riesgos químicos y biológicos

Los residuos peligrosos, hospitalarios o industriales pueden contener sustancias tóxicas, patógenos o materiales infecciosos. Una gestión adecuada evita la exposición de trabajadores, recicladores y ciudadanos a contaminantes que pueden causar intoxicaciones, infecciones o enfermedades crónicas.

6.4 Mejora de las condiciones sanitarias en las ciudades

Un sistema eficiente de recolección, tratamiento y disposición final de residuos contribuye a mantener espacios urbanos limpios y saludables, reduciendo la contaminación visual, los malos olores y los riesgos sanitarios.

6.5 Promoción de estilos de vida saludables y sostenibles

La gestión adecuada de residuos fomenta prácticas como la reducción, reutilización y reciclaje; lo que disminuye la cantidad de desechos generados y promueve una cultura ambiental responsable en la población.

6.6 Protección de grupos vulnerables

Las personas que trabajan en la recolección o reciclaje informal están más expuestas a residuos peligrosos. Implementar sistemas de gestión integral con inclusión social y formalización del reciclaje mejora sus condiciones de trabajo y reduce riesgos para su salud.

Figura 3: Sinergias de participación para la Gestión Integral de Residuos



Fuente: Programa CIERVA.

La correcta gestión de residuos es un componente clave de la salud ambiental, ya que previene enfermedades, reduce la contaminación y mejora la calidad de vida de la población. Por ello, requiere la participación conjunta de gobiernos, instituciones, empresas y ciudadanía para implementar sistemas sostenibles de manejo de residuos.

7. MARCO NORMATIVO DE GESTIÓN DE RESIDUOS

7.1 Ley General de Medio Ambiente – Ley 1333

La Gestión Integral de Residuos Sólidos se encuentra establecida en el marco de la Ley N.º 1333 de Medio Ambiente desde el 27 de abril del 1992, la cual define los principios generales para la prevención, control y mitigación de los impactos ambientales generados por las actividades productivas y sociales. Este marco legal promueve la protección de la salud humana y del medio ambiente mediante la adopción de prácticas ambientalmente responsables en el manejo de residuos.

La Ley 1333 desarrolla los mandatos constitucionales y establece el marco legal operativo para prevenir y controlar la contaminación por residuos sólidos.

En concordancia directa con la CPE, la Ley 1333:

- Operativiza el derecho constitucional a un medio ambiente sano.
- Regula las actividades que generan residuos sólidos.
- Establece obligaciones para generadores, operadores y autoridades.
- Previene y controla la contaminación del suelo, agua y aire.

En el marco de la Ley 1333, el Decreto Supremo N.º 24176 “Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos” establece las siguientes disposiciones:

Disposiciones relevantes

Según el principio de prevención y control de la contaminación, la ley establece que toda actividad que genere residuos debe:

Minimizar su generación.

- Tratar adecuadamente los residuos.
- Disponerlos sin causar daño ambiental ni a la salud.

Responsabilidad del generador

Toda persona natural o jurídica que genere residuos sólidos es responsable de su:

- Manejo.
- Transporte.
- Tratamiento.
- Disposición final adecuada.

Competencias institucionales

- Los Gobiernos Autónomos Municipales son responsables de la gestión de residuos sólidos urbanos.
- El Estado regula, fiscaliza y sanciona prácticas inadecuadas.

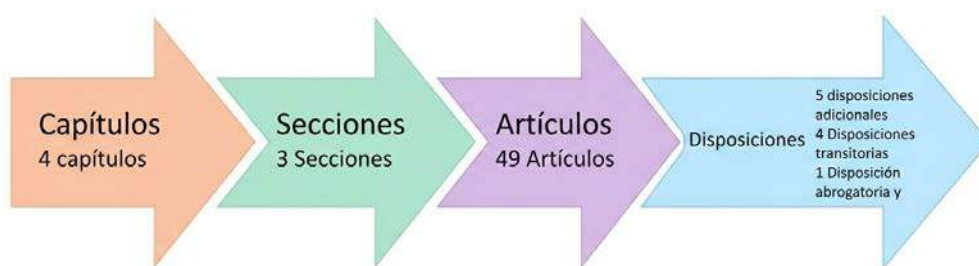
8. Ley 755 – Gestión Integral de Residuos

De manera específica, la Ley N.º 755 de Gestión Integral de Residuos establece

los lineamientos y obligaciones para la gestión de los residuos sólidos en todas sus etapas: generación, segregación en fuente, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final, asignando responsabilidades a los generadores, operadores y autoridades competentes, tanto del sector empresarial como de la sociedad en su conjunto.

Dentro el marco normativo la Ley está conformado por:

Figura 4: Contenido de la Ley 755



Fuente: Elaboración propia con base en la Ley 755.

Para su aplicación en concordancia a los artículos establecidos, la Ley cuenta con reglamentos normativos para su aplicación los cuales son:

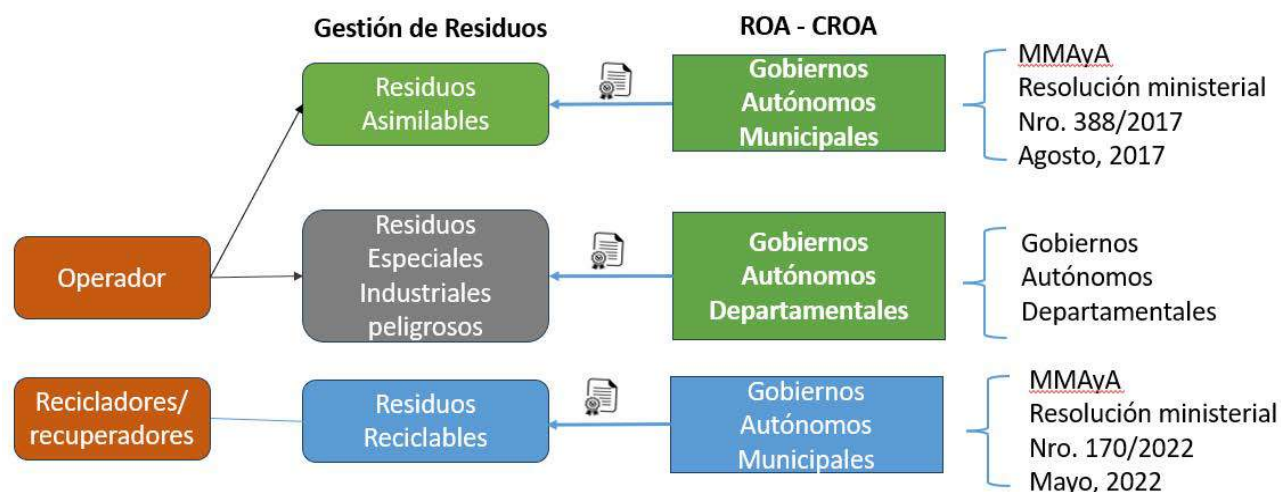
- **D.S. 2954/2015:** Reglamento de Gestión Integral de Residuos.
- **R.M. 432/2015:** Clasificación de Residuos según sus características, fuente de generación y gestión operativa.
- **R.M. 338/2017:** Norma técnica para el Registro y Autorización de operadores de residuos.
- **R.M. 170/2022:** Norma Técnica para Registro y autorización de nimeamientos de recuperadores o recicladores de residuos reciclables.

Su aplicación se rige por el marco legal vigente en los niveles nacional, departamental y municipal, de acuerdo con las competencias y responsabilidades establecidas para cada nivel de gobierno.

Gestión con Operadores Autorizados

Para la adecuada gestión de los residuos, se establece su manejo a través de operadores autorizados, de acuerdo con el tipo de residuo a gestionar. En el esquema siguiente se presenta de manera gráfica el proceso de registro y certificación de los operadores autorizados:

Figura 5: Esquema de Registro de Operador Autorizado



Fuente: Programa CIERVA con base a la normativa vigente.

El trámite puede ser realizado por personas naturales, empresas unipersonales, sociedades comerciales, asociaciones y entidades municipales de aseo urbano, así como por otras organizaciones, de acuerdo con el tipo de residuos que gestionen.

El reconocimiento otorgado por la autoridad competente corresponde al título de **Operador Autorizado de Residuos** y/o al de recicladores de base como operadores autorizados de residuos reciclables.

Los solicitantes deben cumplir con todas las condiciones técnicas y normativas relacionadas con las etapas de transporte, almacenamiento, tratamiento, transferencia y/o disposición final de los residuos.

8.1 Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero – RASIM

En el ámbito de las actividades productivas e industriales, el Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero (RASIM) complementa el marco legal

vigente, estableciendo requisitos técnicos y administrativos para la prevención y control de la contaminación, así como para la gestión adecuada de los residuos sólidos y peligrosos generados en los procesos industriales. El RASIM enfatiza la responsabilidad del generador, la implementación de medidas de prevención, la minimización de residuos en la fuente y la adopción de prácticas de producción más limpia.

Las empresas manufactureras, independientemente de su categoría (1, 2, 3 o 4), están obligadas a cumplir con los Instrumentos de Regulación de Alcance General establecidos en el Título IV. En este marco, la gestión adecuada de los residuos constituye una obligación legal orientada a prevenir la contaminación del suelo y minimizar los impactos ambientales derivados de las actividades productivas.

Con el objetivo de reglamentar las actividades de las industrias que puedan contaminar el medio ambiente con los residuos sólidos, se consideran de prioritaria atención los siguientes residuos²:

2 Bolivia. (2002). Decreto Supremo N.º 26736 de 30 de julio de 2002. *Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero (RASIM)*. La Paz, Bolivia.

- a) Residuos de los procesos industriales.
- b) Residuos de los procesos de descontaminación.
- c) Envases y embalajes de material primas e insumos.
- d) Materiales de tratamiento y limpieza de materias primas, equipos y ambientes.
- e) Equipos, maquinarias en desuso, partes y piezas.
- f) Residuos de sus productos.

Figura 6: Procesos Industriales que generan residuos



Fuente: <https://agaleus.com/tratamiento-de-residuos-solidos/>

La industria es responsable de la prevención y control de la contaminación que generen sus residuos sólidos, debiendo realizar esfuerzos en:

Figura 7: Responsabilidades de las Industrias Manufactureras



Fuente: Guía Didáctica RASIM.

El sector industrial manufacturero, dentro el cumplimiento normativo, tiene responsabilidades por la generación de residuos, de sus procesos principales y de apoyo. Los mismos deben ser gestionados de acuerdo a sus características y fuente de generación.

9 WEBGRAFÍA



Con la finalidad de fortalecer el aprendizaje autónomo y complementar los contenidos e información desarrollados en cada Guía Técnica o Unidad Temática, se presenta la siguiente webgrafía. Los documentos y videos digitales seleccionados permitirán al personal docente ampliar sus conocimientos y reforzar la comprensión de los contenidos abordados.

Ecurridizos lixiviados

<https://www.youtube.com/watch?v=F7X6jLLVJ6M>

Proyecto Contaminación Lixiviados

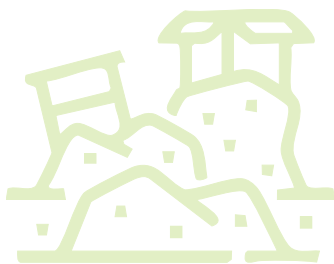
<https://www.youtube.com/watch?v=cVWjj0xtHsA>

Efectos de los residuos sólidos en el ambiente y la salud

<https://www.youtube.com/watch?v=1VOXHLOCTOg>



UNIDAD TEMÁTICA 2



CLASIFICACIÓN,
CARACTERIZACIÓN
Y SEGREGACIÓN DE
RESIDUOS

1. INTRODUCCIÓN

El contenido relacionado con la clasificación, caracterización y segregación (separación en fuente) constituye un eje transversal en el proceso formativo del Instituto Tecnológico. En este sentido, el docente podrá considerar el desarrollo de los temas generales establecidos en la Unidad Temática 2, en función de los objetivos de aprendizaje y las competencias requeridas en cada asignatura.

Los conceptos y contenidos se encuentran estructurados para cada asignatura, constituyendo la base para el desarrollo formativo de los temas a ser abordados en cada carrera. En este sentido, se establece que dichos contenidos deben ser desarrollados incorporando información de carácter transversal, aplicable a las distintas carreras del Instituto, con el fin de fortalecer la integralidad del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Los mismos serán desarrollados en las asignaturas que fueron identificados en la etapa de incorporación de contenidos:

Carrera	Semestre/año	Asignatura
Gastronomía	Primer año	Inocuidad alimentaria, seguridad ocupacional y medio ambiente
Industria Textil y Confecciones	Primer año	Seguridad industrial y medio ambiente
Construcción Civil	Primer año	Seguridad industrial y medio ambiente
	Segundo año	Hormigón armado II
	Tercer año	Obras viales
Diseño Gráfico	Tercer año	Sistema de impresión
Mecánica Industrial	Primer semestre	Seguridad ocupacional y medio ambiente
Sistemas Informáticos	Primer año	Hardware de computadoras

Química Industrial	Primer año	Higiene, seguridad industrial y medio ambiente
	Segundo semestre	Higiene, seguridad industrial y medio ambiente
Mecánica Automotriz	Primer año	Seguridad ocupacional y medio ambiente
Electromecánica	Primer semestre	Higiene, seguridad industrial y medio ambiente

1.1 Conceptos

En el marco de la gestión integral de residuos los conceptos aportan a la clasificación y caracterización conforme a su composición.

- **Residuos reciclables:** Son todos los residuos que pueden aprovecharse como materia prima en procesos de fabricación del mismo producto a partir del cual se generó o de otro producto.
- **Residuos peligrosos:** Son aquellos que representan un riesgo potencial para la salud humana o el medio ambiente debido a que presentan una o más de las siguientes características: corrosividad, explosividad, inflamabilidad, patogenicidad, reactividad o toxicidad. Se incluyen también los envases, recipientes y demás materiales que los hayan contenido y que conserven residuos o características de peligrosidad.
- **Residuos especiales:** Son aquellos que por sus características de volumen y composición requieren de una gestión especial para cada tipo de residuo.
- **Residuos orgánicos:** Comprende los residuos generados principalmente en lugares donde se realizan actividades de cocina, consumo de alimentos,

jardinería y poda de plantas, centros de abasto de frutas, verduras u otros generados por acción de la naturaleza. Su característica principal es que pueden ser descompuestos por la acción natural de organismos vivos como lombrices, bacterias y hongos principalmente.

- **Residuos no aprovechables:** Son todos los residuos que no pueden ser aprovechados mediante reutilización, reciclaje o tratamiento biológico.
- **Generador de residuos:** Persona individual o colectiva, pública o privada, que genere residuos como resultado de sus actividades de consumo o producción.

Figura 8: Basura vs. Residuo

¿Qué es basura?

Es todo lo que generamos que no tiene utilidad y tampoco puede reciclarse ni reutilizarse, debe disponerse en los rellenos sanitarios.



¿Qué es un residuo?

Es todo lo que generamos que después de utilizarlo todavía puede ser reutilizado o reciclado.



Fuente: Elaboración Programa CIERVA.

2 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS

2.1 Clasificación básica de los residuos según su procedencia y naturaleza

En el marco del Reglamento en Gestión de Residuos Sólidos de la Ley de Medio Ambiente N.º 1333, la clasificación de los residuos sólidos se realiza de acuerdo al siguiente cuadro:

Tabla 5: Clasificación de residuos de acuerdo a la Ley 1333

Clasificación de los residuos sólidos por su procedencia y naturaleza	
A. Residuos domiciliarios	
B. Residuos voluminosos	
C. Residuos comerciales	
D. Residuos procedentes de la limpieza de áreas públicas	
E. Residuos especiales	E.1 Vehículos y electrodomésticos desechados
	E.2 Neumáticos desechados
	E.3 Residuos sanitarios no peligrosos
	E.4 Animales muertos
	E.5 Escombros
	E.6 Jardinería
F. Residuos industriales asimilables a domiciliarios	
G. Restos de mataderos	
H. Lodos	
I. Residuos agrícolas, ganaderos y forestales	
J. Residuos mineros y metalúrgicos	
K. Residuos peligrosos	

Fuente: Ley de Medio Ambiente N.º 1333, Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos

En el marco de la Ley 755 de Gestión Integral de Residuos, la Resolución Ministerial (R.M.) 432 define que la clasificación de residuos se realiza de acuerdo a sus características, fuente de generación y su gestión operativa. En función de los conceptos de residuos peligrosos, no peligrosos y especiales, se establece la siguiente clasificación:

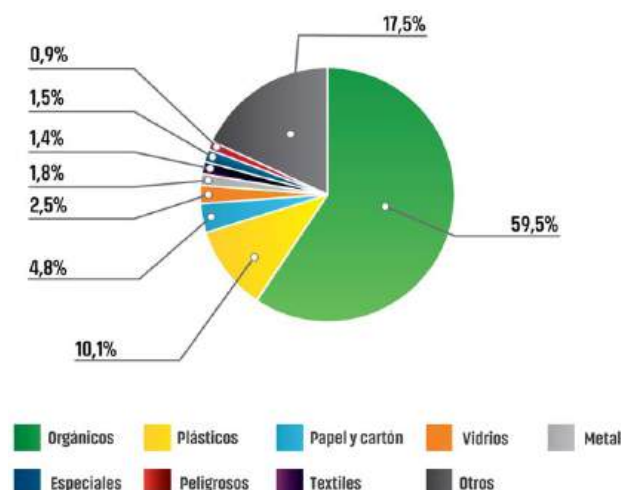
Figura 9: Clasificación de los residuos y su composición



Fuente: R.M. 432 de la Ley 755 de Gestión Integral de Residuos.

En el marco de la clasificación de los residuos, su composición se determina de acuerdo con sus características y propiedades. El Diagnóstico Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos en Bolivia establece la siguiente composición de los residuos:

Figura 10: Composición promedio de los residuos sólidos municipales



Fuente: Diagnóstico Nacional de Gestión Integral de Residuos sólidos.

2.2 Clasificación según su composición

De acuerdo con su composición y fuente de generación, los residuos pueden clasificarse en los siguientes tipos:

Figura 11: Clasificación de los residuos por su composición



Fuente: Programa CIERVA en referencia a la Ley 755.

2.3. Residuos No Peligrosos

Residuos Orgánicos

Son aquellos que provienen de los restos de plantas o animales; por ejemplo: cáscaras de frutas, restos de alimentos, huesos, cáscaras de huevos, etc.; también los que provienen de actividades agrícolas y pecuarias (estiércol, rumen, etc.). Estos residuos generan importantes impactos en los rellenos sanitarios debido a la producción de lixiviados y de gases de efecto invernadero durante su proceso de descomposición.

Los residuos orgánicos pueden ser aprovechados y convertidos en abono o humus de lombriz a través de procesos de compostaje y lombricultura. También, mediante procesos de digestión anaerobia o biometanización, se puede aprovechar energéticamente el biogás generado en la descomposición anaeróbica de estos residuos, mientras que el material sólido residual (digestato), una vez estabilizado, puede emplearse como abono.

Figura 12: Residuos orgánicos



Residuos Inorgánicos

Los residuos inorgánicos son aquellos de origen mineral o sintético, como

plásticos, metales, vidrios, entre otros. Se caracterizan por presentar tiempos de degradación muy prolongados o, en algunos casos, por no ser biodegradables, lo que puede generar problemas de contaminación si no reciben una gestión adecuada. Asimismo, contribuyen significativamente al aumento del volumen de residuos en los rellenos sanitarios, reduciendo su vida útil.

Sin embargo, estos residuos pueden ser aprovechados en nuevos procesos productivos mediante sistemas de reciclaje. En este grupo se incluyen materiales no biodegradables o de muy lenta degradación. Los residuos inorgánicos comprenden, entre otros, plásticos, metales, vidrio, papel y cartón.

Figura 13: Residuos Inorgánicos por su naturaleza

Residuos Inorgánicos

- Papel
- Periódico
- Cartón
- Plásticos
- Vidrio
- Metales
- Textiles
- Maderas procesadas
- Envases de multicasas
- Bolsas de frituras
- Utensilios de cocina
- Cerámica
- Juguetes
- Calzado
- Cuero
- Radiografías
- Cd's y cartuchos para impresoras y copiadoras



Fuente: <https://www.ejemplos.co/50-ejemplos-de-basura-organica/>

2.4 Residuos Peligrosos

Los residuos sólidos peligrosos corresponden a aquellos que presentan una o varias de las características de peligrosidad: corrosividad, explosividad, inflamabilidad, patogenicidad, bioinfecciosa, radiactividad, reactividad y toxicidad; y que conllevan riesgo potencial para ser humano y medio ambiente.

Figura 14: Pictogramas de las características de los Residuos Peligrosos



Fuente: <https://www.oroicolab.info/que-es-el-cretib>

2.5 Clasificación de residuos en los ITT

En el marco de la clasificación de residuos, y con el fin de orientar los contenidos de las asignaturas en las carreras de los Institutos Tecnológicos durante la etapa de formación, especialmente en actividades prácticas de laboratorio, los residuos se clasifican de acuerdo con su fuente de generación.

Tabla 6: Identificación y clasificación de Residuos en ITT

Nº	Residuos Generados	Característica	Mecánica Automotriz	Mecánica Industrial	Electro-mecánica	Electrónica	Sistemas Informáticos	Construcción Civil
1	Filtro de aceites	Peligroso	x	x				
2	Aceites lubricantes en desuso	Peligroso	x	x	x			
3	Grasas	Peligroso	x	x				x
4	Trapos empetrolados	Peligroso	x	x	x	x		
5	Baterías automotrices	Peligroso	x					
6	Líquidos de frenos	Peligroso	x					
7	Neumáticos fuera de uso	Especiales	x					
8	Chatarra metálica	Especiales	x	x				x
9	Plásticos	No peligroso	x	x	x	x	x	x
10	Vidrio	No peligroso	x	x	x	x	x	
11	Cables eléctricos	No peligroso	x	x	x		x	
12	Envases de solventes y desengrasantes	Peligroso	x	x	x	x	x	x
13	Lodos aceitosos de limpieza de máquinas	Peligroso		x				
14	EPP usados	Peligroso	x	x		x		
15	Virutas metálicas	No peligroso	x	x				
16	Correas, sellos y empaques	Especiales	x					
17	Papel	No peligroso	x	x	x	x	x	x
18	Cartón	No peligroso	x	x	x	x	x	x
19	Madera pallets	No peligroso	x					
20	Residuos eléctricos y electrónicos	Especiales	x	x	x	x	x	
21	Residuos de escorias de fundición	No peligroso		x				
22	Capacitadores y transformadores en desuso	Peligroso						
23	Lámparas fluorescentes	Peligroso			x		x	x
24	Envases de pinturas y barnices	Peligroso			x			
25	Aislantes eléctricos usados	Especiales			x			
26	Residuos de soldadura	Peligroso				x		
27	Pilas y baterías (litio, Ni-Cd, Ni-MH, plomo-ácido)	Peligroso					x	
28	Pantallas y monitores	Especiales				x		
29	Cartuchos de tóner	Peligroso					x	
30	Residuos de la construcción y demolición	Especiales						x
31	Maderas tratadas	Especiales						x
32	PVC en desuso	No peligroso						x

Fuente: Programa CIERVA de acuerdo al diagnóstico a los ITT.

Tabla 7: Identificación y clasificación de Residuos en ITT

Nro.	Residuos Generados	Característica	Áreas que lo generan
1	Filtro de aceites	Peligroso	—
2	Aceites lubricantes desuso	Peligroso	Confección y Textil
3	Grasas vegetales	No peligroso	Gastronomía
4	Trapos empetrolados	Peligroso	Química Industrial
5	Baterías automotrices	Peligroso	—
6	Guantes de látex	No aprovechable	Química Industrial
7	Neumáticos fuera de uso	Especiales	—
8	Chatarra metálica	Especiales	Química Industrial, Gastronomía
9	Recortes de Telas	No peligroso	—
10	Vidrio	No peligroso	Confección y Textil, Química Industrial, Gastronomía
11	Hilos sobrantes	No peligroso	Confección y Textil
12	Envases solventes y desengrasante	Peligroso	Química Industrial
13	Lodos aceitosos de limpieza de maquinas	Peligroso	—
14	EPP usados	Peligroso	—
15	Virutas metálicas	No peligroso	—
16	Correas, sellos y empaques	Especiales	—
17	Papel Blanco y mixto	No peligroso	Diseño Gráfico, Confección y Textil, Química Industrial, Gastronomía
18	Papel Couche	No peligroso	Diseño Gráfico
19	Botellas PET	No peligroso	Diseño Gráfico, Gastronomía
20	Bolsas Plásticas y empaques	No peligroso	Diseño Gráfico, Confección y Textil
21	Cartón	No peligroso	Diseño Gráfico, Confección y Textil, Gastronomía
22	Orgánicos (cascaras, verduras, etc.)	No peligroso	Gastronomía
23	Madera pallets	No peligroso	—
24	Residuos eléctricos electrónicos	Especiales	Diseño Gráfico, Confección y Textil, Química Industrial, Gastronomía
25	Envases de pinturas y barnices (Fila 25)	No peligroso	Diseño Gráfico
26	Capacitadores y transformadores en desuso	Peligroso	—
27	Lampara fluorescente	Peligroso	—
28	Envases de pinturas y barnices (Fila 28)	Peligroso	Diseño Gráfico
29	Aislantes eléctricos usados	Especiales	—
30	Residuos de soldadura	Peligroso	—
31	Pilas y baterías (litio, Ni-Cd, Ni-MH, plomo-ácido)	Peligroso	Diseño Gráfico, Confección y Textil
32	Pantallas monitores	Especiales	—
33	Cartuchos toners	Peligroso	Diseño Gráfico
34	Residuos de la Construcción y demolición	Especiales	—
35	Maderas tratadas	Especiales	—
36	PVC, en desuso	No peligroso	—
37	Aguas Residuales	No peligroso	Química Industrial, Gastronomía

Fuente: Programa CIERVA de acuerdo al diagnóstico a los ITT.

3 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS

Las Normas Bolivianas (NB), en particular la NB 758, establecen las características, definiciones y criterios de clasificación de

los residuos peligrosos y no peligrosos. Estas disposiciones proporcionan lineamientos técnicos para su identificación, clasificación, rotulado, almacenamiento y manejo seguro, contribuyendo al cumplimiento normativo y a una adecuada

gestión ambiental en los distintos sectores productivos.

La elaboración de una matriz de caracterización permite definir la gestión apropiada de los residuos según sus particularidades, ya sean peligrosos, no peligrosos o especiales.

a) Características de los residuos sólidos acuerdo criterios CRETIP

La gestión de los residuos peligrosos constituye uno de los principales desafíos ambientales contemporáneos debido al incremento sostenido en la generación de desechos y a la creciente complejidad de los materiales utilizados en los procesos productivos. La reducción del ciclo de vida de los productos, junto con el mayor uso de sustancias peligrosas, incrementa los riesgos para la salud humana y el medio ambiente cuando estos residuos no son identificados, clasificados, manejados y dispuestos de manera adecuada.

En el ámbito internacional no existe un sistema único y armonizado para la clasificación de residuos peligrosos. Entre los principales referentes normativos se encuentran el Convenio de Basilea, orientado al control de los movimientos transfronterizos; el Código de Regulaciones Federales 40 CFR 261 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, basado en características y listados específicos; y el Listado Europeo de Residuos de la Unión Europea, que establece una clasificación armonizada mediante códigos normalizados.

La diversidad de enfoques evidencia diferencias en los criterios de identificación, inclusión, exclusión y desclasificación de residuos peligrosos, lo que plantea retos para la compatibilización normativa y

la gestión ambiental efectiva a escala global. En Bolivia, su gestión está regulada por la Ley N.º 755 y su normativa complementaria.

Un residuo se considera peligroso cuando presenta una o más de las siguientes características:

- **Corrosividad:** puede destruir tejidos vivos o materiales (ej. ácidos fuertes).
- **Reactividad:** es inestable y puede generar explosiones o gases tóxicos.
- **Explosividad:** puede detonar bajo ciertas condiciones.
- **Toxicidad:** causa daños a la salud o al ambiente.
- **Inflamabilidad:** se enciende fácilmente.
- **Biológico-infeccioso:** contiene microorganismos patógenos.

Se realizó un análisis documental comparativo de tres marcos regulatorios internacionales para la identificación de residuos peligrosos: el Convenio de Basilea, el Listado Europeo de Residuos y el Código de Regulaciones Federales de los Estados Unidos (40 CFR Parte 261).

La metodología se estructuró en tres fases. Primero, se compararon definiciones, criterios de exclusión e identificación de características de peligrosidad, estableciendo similitudes, diferencias y una propuesta de armonización conceptual. Segundo, se revisaron los principales métodos de ensayo utilizados para determinar características como inflamabilidad, corrosividad, reactividad, explosividad y toxicidad. Tercero, se evaluaron ventajas y limitaciones de cada normativa

mediante un ejercicio comparativo de aplicación práctica.

4 SEGREGACIÓN O SELECCIÓN EN ORIGEN

La separación en fuente es el proceso mediante el cual los residuos son clasificados en el mismo lugar donde se generan (hogar, institución, empresa o taller) evitando su mezcla y facilitando su aprovechamiento, tratamiento o disposición final adecuada. Los objetivos de la separación en fuente son:

- Reducir la contaminación cruzada.
- Facilitar el reciclaje y la valorización.
- Disminuir el volumen de residuos destinados a rellenos sanitarios.
- Reducir los riesgos para la salud.
- Promover la cultura ambiental.

Es una etapa fundamental dentro de la Gestión Integral de Residuos Sólidos establecida en Bolivia por la Ley N.º 755.

4.1. Mecanismos de la separación en fuente

Para facilitar el aprovechamiento y la gestión adecuada de los residuos, estos deben clasificarse en el lugar donde se generan, de acuerdo con sus características. En términos generales, la separación en fuente comprende las siguientes categorías:

- Residuos orgánicos
- Residuos reciclables
- Residuos no aprovechables
- Residuos peligrosos y especiales.

Con fines didácticos, el siguiente esquema presenta la clasificación de los residuos de acuerdo con su fuente de generación y el proceso de separación en fuente:

Figura 15: Esquema de Clasificación en Fuente



Fuente: Programa CIERVA.

4.2 Condiciones de almacenamiento

Una vez realizada la separación en fuente, los residuos deben almacenarse temporalmente en condiciones que garanticen la seguridad, la protección de la salud y la prevención de impactos ambientales. Para ello, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- El almacenamiento debe ser temporal, evitando acumulaciones prolongadas.
- Debe realizarse en áreas designadas, señalizadas y de acceso controlado.
- Los residuos deben estar clasificados y segregados en la fuente, conforme a su naturaleza (orgánicos, inorgánicos, peligrosos, reciclables, especiales).
- Está prohibido mezclar residuos incompatibles o que puedan reaccionar entre sí.

Figura 16: Condiciones de Almacenamiento de Residuos





Fuente: Elaboración propia.

Infraestructura del almacenamiento

- Superficie impermeable, resistente y de fácil limpieza.
- Sistema de drenaje para evitar acumulación de lixiviados.
- Techado o protección contra lluvia, radiación solar y viento.
- Ventilación adecuada para evitar acumulación de gases y olores.
- Iluminación suficiente y señalización visible.

Manipulación segura de los residuos

- Limpieza y desinfección periódica de contenedores y áreas.
- Control de vectores (roedores, insectos).
- Uso obligatorio de Equipos de Protección Personal (EPP) para el personal.
- Disponibilidad de kits para atención de derrames, cuando corresponda.

4.3 Criterios técnicos, colores y códigos

Para garantizar una adecuada separación en fuente, los residuos deben depositarse en contenedores diferenciados, identificados mediante colores y códigos normalizados. Este sistema facilita su identificación, almacenamiento, recolección, transporte y aprovechamiento, además de prevenir la contaminación cruzada y reducir los riesgos para la salud y el medio ambiente.

De acuerdo con la Norma Boliviana NB 756, los colores para la identificación y separación de los residuos son los siguientes:

Figura 17: Código de colores de los contenedores



Fuente: NB 756 Residuos sólidos - Recipientes para el almacenamiento de residuos sólidos domésticos y asimilables a domésticos.

Importancia ambiental y social

- Mejora la eficiencia de los sistemas de recolección y tratamiento.
- Reduce la cantidad de residuos enviados a disposición final.
- Disminuye la generación de lixiviados, olores y emisiones contaminantes.
- Protege la salud de los trabajadores y de la población.
- Contribuye a la economía circular y al desarrollo sostenible.

Los residuos especiales se clasifican en:

- Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE): Equipos en desuso que contienen componentes eléctricos y electrónicos.
- Neumáticos Fuera de Uso (NFU): Llantas y neumáticos desechados al finalizar su vida útil.
- Residuos de construcción y demolición (RCD): Residuos generados durante actividades de construcción, remodelación, reparación o demolición de obras.
- Vehículos, maquinaria y equipos fuera de uso: Bienes que han concluido su vida útil y requieren una gestión diferenciada.
- Chatarra metálica: Residuos constituidos por metales ferrosos y no ferrosos.
- Residuos de mataderos: Residuos generados en las actividades de faenado.

y procesamiento de animales, que requieren un manejo específico por sus características sanitarias.

5 Buenas prácticas en la gestión de residuos

Las buenas prácticas en la gestión de residuos son acciones y procedimientos

que permiten reducir la generación de desechos, manejarlos adecuadamente y minimizar sus impactos en el ambiente y la salud pública. Estas prácticas se aplican en hogares, instituciones, empresas e industrias dentro del enfoque de gestión integral de residuos

Figura 18: Acciones de buenas practicas



Fuente: Fundación Laboral de la Construcción de Castilla-La Man.

6 WEBGRAFÍA



Con la finalidad de fortalecer el aprendizaje autónomo y complementar los contenidos e información desarrollados en cada Guía Técnica o Unidad Temática, se presenta la siguiente webgrafía. Los documentos y videos digitales seleccionados permitirán al personal docente ampliar sus conocimientos y reforzar la comprensión de los contenidos abordados.

Los residuos sólidos, clasificación, gestión y cómo reducirlos
https://www.youtube.com/watch?v=W_udAZvJ2Zw

Qué son los residuos y cómo clasificarlos

<https://www.youtube.com/watch?v=oUIMqELKLGU>

Almacenamiento de Residuos Especiales (REAS) en Chile

<https://www.youtube.com/watch?v=qwVm-MXFqFc>

Saber reciclar correctamente y contenedores

https://www.youtube.com/watch?v=0i99_Lkvjm0



UNIDAD TEMÁTICA 3



VALORIZACIÓN Y
APROVECHAMIENTO
DE RESIDUOS

1 INTRODUCCIÓN

La valorización y aprovechamiento de residuos en la formación técnica constituye una estrategia fundamental para fortalecer competencias orientadas a la sostenibilidad y la gestión ambiental responsable. A través de este enfoque, los estudiantes desarrollan conocimientos y habilidades para identificar, clasificar, reutilizar, reciclar y transformar residuos en recursos con valor económico, ambiental y social. Asimismo, se promueve la reducción de impactos ambientales generados por las actividades productivas

y de servicios, fomentando prácticas de economía circular y producción más limpia. La incorporación de estos contenidos en la formación técnica permite preparar profesionales con capacidades para implementar procesos eficientes de manejo de residuos en diferentes sectores industriales y productivos.

El contenido de la Unidad Temática 3 constituye el material base para el desarrollo de las asignaturas, sirviendo como apoyo en el proceso de formación y en la implementación de los contenidos temáticos correspondientes a cada asignatura:

Tabla 8: Asignaturas de las Carreras priorizadas para Competencias Verdes

Carrera	Semestre/año	Asignatura
Gastronomía	Primer año	Inocuidad alimentaria, seguridad ocupacional y medio ambiente
Industria Textil y Confecciones	Primer año	Seguridad industrial y medio ambiente
Construcción Civil	Primer año	Seguridad industrial y medio ambiente
	Segundo año	Hormigón armado II
	Tercer año	Obras viales
Diseño Gráfico	Tercer año	Sistema de impresión
Mecánica Industrial	Primer semestre	Seguridad ocupacional y medio ambiente
Sistemas Informáticos	Primer año	Hardware de computadoras
Química Industrial	Primer año	Higiene, seguridad industrial y medio ambiente
	Segundo semestre	Higiene, seguridad industrial y medio ambiente
Mecánica Automotriz	Primer año	Seguridad ocupacional y medio ambiente
Electromecánica	Primer semestre	Higiene, seguridad industrial y medio ambiente

2 PRINCIPIOS DE LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

Los principios de la valorización de residuos se refieren a los fundamentos que orientan el aprovechamiento de los residuos como recursos, con el objetivo de reducir su impacto ambiental y promover el uso eficiente de materiales y energía. Este enfoque forma parte de la economía circular y de la gestión integral de residuos.

3 CONCEPTO DE VALORIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS

La valorización de residuos es el conjunto de procesos mediante los cuales los residuos son recuperados para obtener materiales, energía u otros productos útiles, evitando que sean eliminados como desechos finales. Este enfoque busca transformar los residuos en recursos, reduciendo el impacto ambiental y promoviendo el uso

eficiente de materias primas dentro de la economía circular.

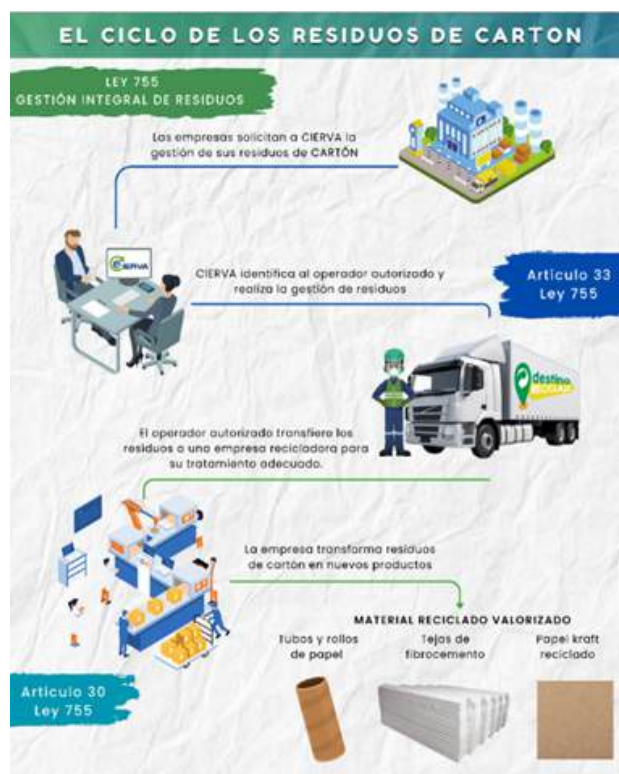
3.1 La valorización

Puede incluir diferentes procesos como:

- Reutilización de productos o materiales.
- Reciclaje para obtener nuevas materias primas.
- Compostaje de residuos orgánicos.
- Recuperación energética a partir de residuos.

En el marco normativo boliviano, la valorización se promueve dentro de la gestión integral de residuos, según la Ley N.º 755 de Gestión Integral de Residuos, que establece la recuperación y el aprovechamiento como parte de la jerarquía de manejo de residuos.

Figura 19: Mecanismo de valorización de residuos



Fuente: Programa CIERVA.

3.2 Aprovechamiento de residuos

El aprovechamiento de residuos se refiere al proceso de utilización de los residuos como insumos en nuevos procesos productivos o para la generación de energía, permitiendo recuperar su valor económico o material antes de su disposición final.

Este aprovechamiento puede realizarse mediante:

- Reciclaje de materiales (papel, plástico, vidrio, metales).
- Reutilización directa de productos o componentes.
- Compostaje o digestión anaerobia de residuos orgánicos.
- Uso de residuos como materia prima secundaria en procesos industriales.
- Diferencia entre valorización y aprovechamiento

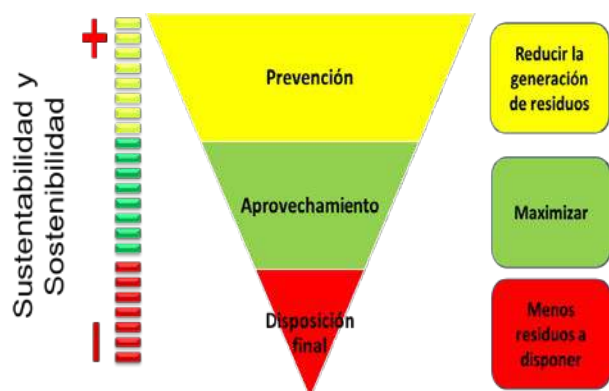
Valorización: Concepto más amplio que incluye todas las acciones para recuperar valor de los residuos.

Aprovechamiento: Forma específica de valorización que implica usar el residuo como recurso o materia prima en otro proceso.

4. JERARQUÍA EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

En la aplicación de la Gestión Integral de Residuos, el nivel central del Estado y las entidades territoriales autónomas deben orientar sus acciones, en orden de importancia, a:

Figura 20: Descripción gráfica de la jerarquía de la GIRS



Fuente: Descripción de acuerdo a la Ley 755 (Art. 8).

Este enfoque prioriza las opciones que generan menor impacto ambiental y mayor aprovechamiento de los recursos,

antes de considerar la eliminación final de los residuos. La jerarquía de residuos es promovida por organismos internacionales y por normativas ambientales como la Ley N.º 755 de Gestión Integral de Residuos.

La jerarquía en la gestión de residuos aplicada a la gestión operativa se refiere a la organización y ejecución de las actividades técnicas y logísticas del manejo de residuos, siguiendo un orden de prioridad que busca reducir la generación de residuos, maximizar su aprovechamiento y minimizar la disposición final.

Figura 21: Gestión Operativa de Residuos



Fuente: Descripción de acuerdo a Ley 755 Gestión Integral de Residuos.

La aplicación de la jerarquía de residuos en la gestión operativa permite:

- Optimizar los sistemas de recolección, transporte y tratamiento de residuos.
- Reducir costos asociados al manejo de residuos.
- Incrementar el aprovechamiento de materiales reciclables.
- Disminuir la contaminación ambiental y los riesgos para la salud pública.

5. REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE MATERIALES

La reutilización y el reciclaje son estrategias fundamentales dentro de la Gestión Integral de Residuos, orientadas a reducir la cantidad de residuos generados y aprovechar los materiales antes de su disposición final. Ambas prácticas forman parte de la jerarquía de gestión de residuos, en la cual se priorizan las acciones que permiten prolongar la vida útil de los recursos y disminuir los impactos ambientales.

5.1 Reutilización

La reutilización consiste en volver a utilizar un producto o material varias veces para el mismo uso o para un uso diferente, sin necesidad de someterlo a procesos de transformación industrial significativos. Su objetivo principal es extender la vida útil de los productos, evitando la generación innecesaria de residuos.

Figura 22: Reutilización de la botella PET



Fuente: Análisis de Reuso del Programa CIERVA.

5.2 Reciclaje

El reciclaje es el proceso mediante el cual los residuos son recolectados, clasificados y transformados mediante procesos

físicos, químicos o mecánicos para obtener nuevas materias primas o productos.

Figura 23: Reciclajes de Residuos



Residuo botella PET.

Proceso mecánico para transformarlo en materia prima.



Nuevos productos

Fuente: Análisis Programa CIERVA.

5.3. Relación entre reutilización y reciclaje

La relación entre ambas estrategias radica en que las dos buscan recuperar el valor de los residuos y reducir el consumo de recursos naturales, aunque se diferencian en el nivel de transformación requerido.

- La reutilización prolonga directamente la vida útil de los productos, sin modificar significativamente su estructura.
- El reciclaje transforma los residuos en nuevas materias primas, permitiendo su reincorporación en procesos productivos.
- Dentro de la jerarquía de gestión de residuos, la reutilización tiene mayor prioridad que el reciclaje ya que requiere menos energía, menos recursos y genera menores impactos ambientales.

6 APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS (COMPOSTAJE)

El Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en un municipio puede permitir la reducción de hasta un 50% en el peso de los residuos que vayan a ser depositados en el relleno sanitario. Este hecho supone el incremento de la vida útil del relleno, mayor facilidad en su operación, además del beneficio ambiental de reincorporar la materia orgánica a la naturaleza mediante la aplicación de compost o humus de lombriz.

La gestión municipal para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos debe tomar en cuenta los siguientes componentes básicos:

- Clasificación y almacenamiento de los residuos.
- Recolección diferenciada, transporte y tratamiento.
- Distribución y utilización del producto

6.1 Fuentes de Generación de Residuos Orgánicos

Los residuos orgánicos se generan en diversas actividades domésticas, comerciales, industriales y agropecuarias. Entre sus principales fuentes de generación se encuentran los residuos domiciliarios, comerciales (mercados y restaurantes), de jardinería, de la industria alimentaria, de mataderos, de actividades agrícolas, ganaderas y forestales, así como los lodos provenientes de procesos de tratamiento biológico.

En el ámbito municipal, las principales fuentes de generación de residuos sólidos orgánicos son las siguientes:

Tabla 9: Fuentes de Generación vs. Tipo de Residuo Orgánico

Fuente de generación	Tipo de residuo
Domicilios	Restos de comida
Restaurantes	Restos de comida
Mercados y Ferias	Restos de comida, de vegetales y frutas
Parques y jardines	Restos de las podas y residuos verdes
Plantas de tratamiento de aguas residuales biológicas	Lodos de la depuración
Empresas procesadoras de alimentos	Alimentos caducados y otros restos
Actividades agropecuarias	Estiércol
Actividades agroforestales	Restos de madera
Mataderos	Estiércol, sangre, vísceras, cuernos, etc.
Industrias de la alimentación	Restos de la producción

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS.

Los datos de generación de residuos sólidos orgánicos, tanto en cantidad como en tipo y fuente de generación, serán la base para realizar una buena planificación de los componentes de aprovechamiento.

6.2 Recolección diferenciada y transporte de residuos orgánicos

La recolección diferenciada de los residuos orgánicos consiste en la recolección y el traslado de forma diferenciada de estos residuos seleccionados desde las diversas fuentes de generación hasta el sitio de tratamiento/aprovechamiento. Teniendo en cuenta los distintos generadores, pueden implementarse diferentes modelos de recolección:

- Recolección diferenciada puerta a puerta: Los residuos sólidos seleccionados pueden ser entregados

al recolector directamente. La recolección y transporte puede realizarse en vehículos mecanizados o manuales.

- b) **Recolección en acera:** Los residuos sólidos seleccionados son acumulados en la acera, principalmente en bolsas. La recolección puede ser en esquinas o puntos intermedios.
- c) **Contenedores diferenciados públicos:** Recolección mediante contenedores en puntos fijos. Estos contenedores deben estar identificados mediante un color o etiqueta.

6.3. Tratamiento de Residuos Orgánicos

El tratamiento de los residuos sólidos orgánicos consiste en el proceso de transformación del residuo orgánico en compost o humus. Existen diferentes alternativas para el tratamiento de estos residuos:

- a) **Compostaje:** Consiste en la transformación controlada de materiales orgánicos (restos de frutas y verduras, de podas, pasto, hojas, etc.) a través de un proceso biológico para obtener compost, un abono natural. Esta transformación se inicia con la descomposición de los residuos orgánicos por parte de microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos y fauna típica del suelo, gusanos de tierra, caracoles, cochinillas, etc.) en condiciones aerobias, es decir con presencia de oxígeno. A través del control y el monitoreo de varios factores se puede favorecer, e incluso acelerar, el proceso de degradación. Los diversos grados de control llevan a

varias técnicas de compostaje; a nivel domiciliario, por ejemplo, se realiza el auto compostaje que consiste en una técnica casera de fácil implementación; a mayores escalas, el compostaje se puede realizar mediante diferentes técnicas. Una descripción a detalle de este proceso se describe en el capítulo 3 de esta Guía.

- b) **Lombricultura:** Se trata de la transformación controlada de materiales orgánicos (restos de frutas y verduras, etc.) a través de un proceso biológico para obtener humus de lombriz, derivando en un abono natural. Esta transformación consiste en la descomposición de los restos orgánicos por parte de las lombrices del tipo californianas. Una descripción a detalle de este proceso se describe en el capítulo 8 de esta Guía.
- c) **Digestión anaerobia o biometanización:** Se trata de un proceso mesofílico, de degradación anaerobia (sin oxígeno) de la materia orgánica con la obtención final de una mezcla gaseosa conocida como biogás. El biogás contiene aproximadamente un 30% de dióxido de carbono y entre un 50 a 60% de gas metano y puede ser usado como combustible o transformado en energía térmica y/o eléctrica. Además, en el proceso se obtiene un lodo residual que, previo tratamiento de compostaje, tiene un valor de fertilizante rico en nutrientes (el biol). El biogás es aprovechado para la obtención de energía y el resto de subproductos como fertilizantes orgánicos, ya sea en forma sólida o líquida (aplicación foliar).

Figura 24: Gestión de Residuos Orgánicos del Municipio de Tiquipaya



Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS/ Diagnóstico de Residuos Sólidos en Bolivia.

7 PROCESOS DE RECICLAJE DE PAPEL, PLÁSTICO, VIDRIO Y METALES

El reciclaje es un proceso mediante el cual los residuos se recolectan, clasifican y transforman para obtener nuevas materias primas o productos, reduciendo la cantidad de desechos y el consumo de recursos naturales. El reciclaje constituye una estrategia fundamental dentro de la Gestión Integral de Residuos y del enfoque de economía circular.

A continuación, se describen los procesos básicos de reciclaje de los principales materiales.

7.1. Reciclaje de papel y cartón

El reciclaje de papel y cartón permite recuperar fibras de celulosa para producir nuevo papel.

Proceso:

- Recolección y clasificación: separación del papel según su tipo (periódico, cartón, papel de oficina).
- Trituración: el papel se corta en pequeños fragmentos.
- Pulpeo o desfibrado: se mezcla con agua para formar una pasta de celulosa.
- Limpieza y eliminación de tintas: se eliminan contaminantes mediante procesos químicos o mecánicos.
- Formación de nuevas hojas: la pulpa se extiende, se prensa y se seca para fabricar papel reciclado.

Tabla 10: Ficha descriptiva sobre reciclaje de papel y cartón

Tipo de Residuo:	Papel y Cartón	
De dónde viene:	El papel y el cartón se producen a partir de los árboles, de donde se obtiene la celulosa, que es la fibra que sirve para elaborar estos productos. Para producir una tonelada de papel se necesitan cortar de 15 a 21 árboles.	
Podemos reciclar:	El papel y el cartón son reciclables siempre y cuando no contengan otro tipo de materiales como plástico, ceras, gomas o grasas; es decir, se puede reciclar cualquiera de los siguientes productos:	
	1. Papel blanco 2. Periódicos 3. Revistas y libros 4. Libretas y cuadernos 5. Hojas de carpeta 6. Folletos, tarjetas, invitaciones, papel de propaganda	7. Sobres sin ventana 8. Cajas de cartón y cartoncillo 9. Tubos de cartón para papel sanitario y de cocina 10. Folders (carpetas) 11. Directorios telefónicos
No podemos reciclar:	1. Papel carbón 2. Papel o cartón plastificado 3. Celofán 4. Papel encerado, con goma o grasa 5. Papel con adhesivos (post-it, calcomanías, etc.) 6. Doméstico (servilletas e higiénico)	7. Folletos que contengan otro material que no sea papel o cartón 8. Fotografías 9. Cartones de huevo o empaque de fruta 10. Pañales 11. Curitas (curitas/banditas)
Cómo separarlos:	✓ No debemos mezclar materiales reciclables con no reciclables. ✓ Evitar aquellos desechos que contengan otro tipo de materiales que no sean papel y cartón. ✓ Cuidar que el material no se moje o se manche con restos de comida. ✓ Se deben entregar separadamente el cartón, el periódico y el papel al centro de acopio. ✓ Clasificar y separar los residuos reciclables; por ejemplo: separar en diferentes bolsas o contenedores periódico, papel blanco, papel de colores, cajas de cartón, revistas, etc. ✓ El cartón debe ir amarrado y las cajas desarmadas. ✓ El periódico atado en paquetes manejables. ✓ El resto del papel puede ir dentro de un contenedor.	
Cómo saber si es reciclable:	La prueba para saber si el papel es reciclable consiste en: mojarse un poco los dedos y frotar el papel y el cartón con las yemas de los dedos; si empieza a deshacerse, quiere decir que es reciclable.	
Acciones:	✓ Separar el papel y cartón reciclables de los no reciclables. ✓ Comprar solo productos de papel y cartón reciclables. ✓ Escribir por los dos lados de las hojas de papel. ✓ Las hojas usadas por un lado puedes cortarlas en cuatro y amarrarlas con un estambre o pegarlas con goma para formar una libreta de recados. ✓ Llevar las revistas a cambiar o a vender. ✓ Buscar compradores y recicladores en los directorios de la región. ✓ Organizar en la escuela campañas de recolección de residuos para llevarlos a un centro de acopio.	

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS/Guía de Educación Ambiental en Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2012.

Beneficios:

- Reduce la tala de árboles.
- Disminuye el consumo de agua y energía.

6.3 Reciclaje de plásticos

Los plásticos reciclables incluyen principalmente PET, polietileno de alta densidad (PEAD) y polietileno de baja densidad (PEBD).

Proceso:

- Recolección y clasificación: separación según el tipo de plástico.
- Trituración o molienda: los plásticos se reducen a pequeños fragmentos.
- Lavado: eliminación de impurezas y residuos.
- Extrusión: el material se funde y se convierte en pellets o gránulos.
- Fabricación de nuevos productos: los pellets se utilizan para fabricar envases, fibras textiles o nuevos objetos plásticos.

Tabla 11: Ficha descriptiva sobre reciclaje del plástico

Tipo de Residuo:	Plásticos
De dónde viene:	El plástico está hecho con uno de los recursos no renovables más valiosos: para producir plástico se utiliza gas natural o petróleo crudo, que se transforma químicamente en formas sólidas que se llaman resinas.
Podemos reciclar:	1. Botes de agua purificada, garrafrones 2. Botellas de limpiadores, cloro, champús, enjuagues, etc. 3. Botes de leche 4. Botes de naranjada, jugos, etc. 5. Botes de detergentes, limpiadores de ropa 6. Bolsas de plástico 7. Cestas y cajas 8. Manguera naranja y negra 9. Juguetes
No podemos reciclar:	1. Bolsitas de frituras, botanas, dulces, etc. 2. Plumas (bolígrafos), discos 3. Nieve seca (plastofoam/unicel) 4. Productos que contengan objetos que no sean de plástico 5. Radiografías 6. Platos y envases desechables
Cómo separarlo:	La mayoría de las botellas de plástico están marcadas con un número dentro del símbolo de reciclaje en la parte inferior de los mismos. El número nos indica la clasificación a la que pertenecen de acuerdo con la resina utilizada para su fabricación, y el símbolo indica que es un envase que puede ser reciclado. Existen 7 clases de plásticos: 1. Polietileno Tereftalato (PET) 2. Polietileno de Alta Densidad (PEAD / HDPE) 3. Cloruro de Polivinilo (PVC) 4. Polietileno de Baja Densidad (PEBD / LDPE) 5. Polipropileno (PP) 6. Poliestireno (PS) 7. Otros Los envases que se reciclan con más frecuencia son los números 1 y 2.

Cómo saber si es reciclable:	Existen dos tipos de envases de plástico: a) Los termoestables: aquellos a los que se les da una forma permanente y no se pueden ablandar. Se usan para artículos durables (por ejemplo: platos, muebles, computadoras). Los plásticos termoestables no se reciclan. b) Los termoplásticos: se ablandan cuando se exponen al calor y a la presión, y se endurecen cuando se enfrían. Casi todos estos plásticos son reciclables y se utilizan comúnmente para hacer empaques.
Acciones:	✓ Para lograr una excelente separación, enjuaga tus envases y quítales todas las etiquetas y tapas, así como cualquier resto de aluminio de los sellos. ✓ Si guardas limpias las bolsas de plástico que te dan en el supermercado y las vas juntando, puedes llevarlas a las plantas recicladoras o a los mercados de barrio para que vuelvan a usarlas. ✓ Usa las bolsas para separar y guardar la basura. ✓ Las bolsas de leche, yogur... pueden reutilizarse para manualidades o bolsas para plantines, o reciclarse. ✓ Cada vez que vayas al supermercado lleva tus propias bolsas, y si son de tela o malla, mejor. ✓ Platica con tus vecinos y amigos e invítalos a que hagan lo mismo con sus bolsas al salir al supermercado.

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS/Guía de Educación Ambiental en Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2012.

6.4 Reciclaje de vidrio

El vidrio es uno de los materiales que puede reciclarse múltiples veces sin perder calidad.

Proceso:

- Recolección y separación: clasificación por colores (transparente, verde y ámbar).

- Trituración: el vidrio se tritura para obtener calcín.
- Limpieza: eliminación de etiquetas, tapas y otros contaminantes.
- Fusión: el calcín se funde en hornos a altas temperaturas.
- Moldeo: el vidrio fundido se utiliza para fabricar nuevos envases o productos.

Tabla 12: Ficha descriptiva sobre reciclaje del vidrio

Tipo de Residuo:	Vidrio
De dónde viene:	Se obtiene de la arena sílice que se encuentra en la naturaleza en forma abundante. Se requieren 6 000 kg de arena para producir una tonelada de vidrio. Existen cuatro tipos de vidrio: transparente, café (ámbar), verde y azul.
Podemos reciclar:	La mayor parte del vidrio es 100 % reciclable, ya que este no pierde sus propiedades en el proceso. Entre los elementos que podemos reciclar están: 1. Botellas, frascos y envases de vidrio. 2. Frascos de medicinas (sin tapas).

No podemos reciclar:	El vidrio que contenga una capa de plástico en su composición; por ejemplo: ✓ Vidrios de ventanas ✓ Cristales de automóvil ✓ Espejos ✓ Lentes ✓ Focos (bombillas) ✓ Cerámica y porcelana ✓ Cristal de plomo ✓ Pyrex (refractarios) ✓ Cinescopios (tubos de imagen) ✓ Faros de automóvil
Cómo separarlo:	El vidrio se separa de acuerdo con su coloración en: cristalino, verde, ámbar o azul, y así debe ser entregado al centro de acopio, verificando si reciben todas estas coloraciones o solo algunas. Los envases deben estar limpios y sin tapas o cualquier otro material que no sea vidrio. Debemos tener mucho cuidado al manejar vidrio; para evitar accidentes, es mejor colocarlos en contenedores resistentes.
Cómo saber si es reciclable:	✓ Observar si el producto es transparente o traslúcido y no tiene mezclas de otros materiales adheridos. ✓ Verificar que no corresponda a materiales térmicos (Pyrex), cerámicos o cristales laminados.
Acciones:	✓ Usar los envases y frascos de vidrio para guardar semillas, harina, azúcar, clavos, tornillos, etc. ✓ Evitar comprar productos en envases desechables. ✓ Entregar las botellas y envases de vidrio limpios, secos y sin tapas en el centro de acopio o contenedor correspondiente.

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS/Guía de Educación Ambiental en Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2012.

Beneficios:

- Reduce el consumo de materias primas como arena, caliza y carbonato de sodio.
- Ahorra energía en el proceso de producción.

6.5 Reciclaje de metales

Los metales más reciclados son el aluminio y el acero.

Proceso:

- Recolección y clasificación: separación de metales ferrosos y no ferrosos.
- Compactación y trituración: reducción del volumen para facilitar el transporte.
- Fusión: los metales se funden en hornos industriales.
- Refinación: eliminación de impurezas.
- Fabricación: el metal reciclado se utiliza para producir nuevos envases, piezas industriales o estructuras.

Tabla 13: Ficha descriptiva sobre reciclaje del metal

Tipo de Residuo: Aluminio	
De dónde viene:	El aluminio se encuentra en la corteza terrestre, pero solo en combinación con algunos minerales, de los cuales el más importante es la bauxita. Se necesita extraer 4 toneladas de bauxita para obtener una de aluminio. Al producir aluminio reciclado requerimos 1,1 toneladas de desechos de aluminio. Aunque es un metal producido comercialmente desde hace poco menos de un siglo, el aluminio ocupa el segundo lugar después del hierro en el consumo mundial de metales.
Podemos reciclar:	1. Latas de refresco, cervezas y otras bebidas. 2. Utensilios de cocina, marcos de puertas y ventanas, partes de motor.
No podemos reciclar:	1. Artículos de aluminio en combinación con otros metales o materiales. 2. Papel de aluminio y charolas (bandejas) desechables.
Cómo separarlo:	✓ En el caso de las latas, eliminar completamente el líquido de las mismas. ✓ Para reducir el volumen que ocupan, compactarlas aplastándolas por los extremos y colocarlas en bolsas o costales. ✓ Para otros objetos, quitar las asas o cualquier otra parte que sea de otro material.
Cómo saber si es reciclable:	Los metales se reconocen por sus propiedades físicas. El aluminio es un metal muy ligero y difícil de oxidar. La prueba para saber si este se encuentra puro o contiene hierro es acercar un imán: si es atraído, quiere decir que contiene hierro y no debe ser reciclado como aluminio.
Acciones:	Separa las latas de aluminio y llévalas a un centro de acopio, o bien entrégalas al camión recolector en bolsas separadas.

Tipo de Residuo: Acero	
De dónde viene:	El acero es una aleación de hierro mineral y carbono.
Podemos reciclar:	Muchos de los botes o latas para alimentos, bebidas y otros productos que usamos en la casa están hechos de un metal cuya base es el acero. Todos ellos se pueden reciclar. Estos botes generalmente están fabricados con acero cubierto en los dos lados con una capa delgada de estaño (hojalata) para evitar que se oxide. Se pueden reciclar el 100 % de los botes de acero.
No podemos reciclar:	No se pueden mezclar con el acero otros tipos de metales como el aluminio, el cobre, etc.
Cómo separarlo:	Las latas de acero se deben enjuagar y quitar las etiquetas, abrirse por los dos lados y después compactarse. Ha de tenerse cuidado de separar las que no están hechas de acero.
Cómo saber si es reciclable:	Utiliza un imán: si el imán se pega al bote, tiene acero y debe ser reciclado como acero.
Acciones:	Separa todos los materiales de acero y otros metales. Lléalos a un centro de acopio, o bien entrégalos a las personas recolectoras de chatarra (fierro viejo).

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS/Guía de Educación Ambiental en Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2012.

Beneficios:

- Ahorro significativo de energía.
- Reducción de la explotación minera.

6.6 Gestión de Residuos Eléctricos Electrónicos (RAEE)

Los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) son todos aquellos equipos eléctricos o electrónicos que

han llegado al final de su vida útil, se encuentran dañados, obsoletos o ya no

cumplen su función y son descartados por sus usuarios.

Tabla 14: Matriz de Residuos Eléctricos Electrónicos

Tipo de residuo eléctrico/electrónico	Ejemplos	Características	Riesgo ambiental y a la salud	Aprovechamiento/Valorización	Gestión recomendada
Equipos de informática	Computadoras, laptops, teclados, mouse.	Contienen metales, plásticos y tarjetas electrónicas.	Presencia de plomo y metales pesados.	Recuperación de cobre, aluminio y componentes reutilizables.	Entrega a operador autorizado y reciclaje especializado.
Equipos de telecomunicaciones	Celulares, rúters, teléfonos.	Componentes electrónicos pequeños y baterías.	Contaminación por baterías y sustancias tóxicas.	Recuperación de metales y reutilización de partes.	Segregación y almacenamiento seguro.
Equipos de impresión	Impresoras, fotocopadoras.	Contienen cartuchos y piezas plásticas.	Riesgo por tóner y residuos químicos.	Reciclaje de plástico y partes metálicas.	Gestión diferenciada y reciclaje autorizado.
Electrodomésticos grandes	Refrigeradores, lavadoras, microondas.	Equipos voluminosos con gases y metales.	Emisión de gases refrigerantes y contaminación.	Recuperación de metales y plástico.	Desmantelamiento controlado.
Electrodomésticos pequeños	Licadoras, planchas, cafeteras.	Mezcla de plástico, cobre y aluminio.	Contaminación por componentes eléctricos.	Aprovechamiento de materiales reciclables.	Recolección diferenciada.
Equipos de audio y video	Televisores, radios, parlantes.	Contienen pantallas y circuitos.	Riesgo por plomo y mercurio.	Recuperación de vidrio y metales.	Manejo especializado.
Pilas y baterías	Baterías recargables, UPS.	Contienen sustancias peligrosas.	Alta toxicidad por metales pesados.	Recuperación de componentes metálicos.	Almacenamiento seguro y disposición autorizada.
Cables y accesorios	Cargadores, extensiones, cables.	Alto contenido de cobre y plástico.	Contaminación por quema informal.	Recuperación de cobre.	Reciclaje formal.
Lámparas y luminarias	Focos fluorescentes, LED.	Contienen mercurio y vidrio.	Riesgo tóxico por rotura.	Recuperación de vidrio y metales.	Manejo especializado y almacenamiento seguro.

El Convenio de Basilea establece lineamientos internacionales para el control del movimiento transfronterizo de residuos peligrosos y su eliminación ambientalmente adecuada, incluyendo los residuos eléctricos y electrónicos (RAEE). El convenio regula la exportación e importación de residuos electrónicos entre países para evitar que los residuos peligrosos sean enviados a países con limitada capacidad de tratamiento.

Esto significa que:

- No se pueden exportar residuos peligrosos sin autorización.
- El país receptor debe dar consentimiento previo informado.
- Debe garantizarse el manejo seguro de los residuos.

Figura 25: Residuos de Aparatos Eléctricos Electrónicos - RAEE



Fuente: <https://citlafalda.gob.ar/2023/05/03/el-cit-y-los-residuos-electricos-y-electronicos/>

6.7 Gestión de llantas usadas

Las llantas usadas constituyen un residuo especial que requiere una gestión diferenciada debido a su volumen, lenta degradación y potencial impacto ambiental y sanitario. Su manejo adecuado permite prevenir contaminación, reducir riesgos y promover procesos de valorización y reciclaje.

Figura 26: Tratamiento de las llantas en desuso



Fuente: Terracycle – Industria recicladora de caucho.

Tabla 15: Matriz de gestión de llantas usadas – Neumáticos fuera de uso

Etapas de gestión	Actividad	Riesgo ambiental asociado	Medidas de manejo	Tipo de valorización/aprovechamiento	Responsable
Generación	Cambio y descarte de llantas.	Acumulación de residuos y contaminación visual.	Segregación inmediata de llantas usadas.	Reutilización y reciclaje.	Talleres, empresas y usuarios.
Segregación	Separación de llantas de otros residuos.	Mezcla con residuos comunes.	Clasificación y señalización.	Facilita reciclaje y recuperación.	Personal operativo.
Almacenamiento temporal	Acopio de llantas usadas.	Proliferación de vectores, incendios.	Almacenamiento bajo techo y en áreas ventiladas.	Conservación para aprovechamiento.	Empresa generadora.
Recolección	Retiro de llantas usadas.	Disposición inadecuada.	Recolección diferenciada.	Recuperación de materiales.	Operador autorizado.
Transporte	Traslado a centros de acopio o reciclaje.	Derrames, abandono clandestino.	Transporte controlado y autorizado.	Optimización logística.	Transportista autorizado.
Trituración	Reducción de tamaño de llantas.	Generación de partículas y ruido.	Equipos de control y seguridad industrial.	Producción de caucho reciclado.	Planta recicladora.
Reciclaje	Recuperación de caucho, acero y fibras.	Residuos secundarios.	Procesos controlados y manejo técnico.	Producción de nuevos materiales.	Empresa recicladora.
Valorización energética	Uso como combustible alternativo.	Emisión de gases contaminantes.	Control de emisiones atmosféricas.	Aprovechamiento energético.	Industria autorizada.
Reutilización	Uso en obras civiles o artesanías.	Uso inadecuado o acumulación.	Supervisión y control.	Economía circular.	Emprendimientos y empresas.

Fuente: Programa CIERVA.

La economía circular de los neumáticos fuera de uso consiste en recuperar, transformar y reincorporar los materiales provenientes de llantas usadas a nuevos procesos productivos, promoviendo el aprovechamiento de recursos y minimizando la generación de residuos.

Los NFU permiten recuperar:

- Caucho
- Acero
- Fibra textil.

Estos materiales se utilizan para:

- Pisos deportivos
- Asfalto modificado
- Juegos infantiles
- Aislantes y productos industriales.

Los procesos de producción pasan por las siguientes etapas:

Figura 27: Etapas de recuperación de granulo de caucho



Fuente: Terracycle – Industria recicladora de caucho.

Los neumáticos poseen alto poder calorífico y pueden utilizarse como combustible alternativo en hornos cementeros y procesos industriales controlados.

El coprocesamiento consiste en el aprovechamiento de residuos con poder calorífico o propiedades minerales dentro de procesos industriales, sustituyendo parcialmente combustibles fósiles y materias primas tradicionales, garantizando control ambiental y eficiencia energética

Las llantas usadas poseen:

- Alto poder calorífico.
- Contenido de caucho y acero.
- Capacidad de sustituir combustibles tradicionales.

Por ello son utilizadas como:

- Combustible alternativo en hornos cementeros.
- Fuente energética industrial.

Tabla 16: Diferencias entre Reciclaje y Coprocesamiento de NFU

Reciclaje	Coprocesamiento
Recupera materiales	Aprovecha energía y minerales.
Produce nuevos productos	Sustituye combustible o materia prima.
Requiere transformación física	Se integra al proceso industrial.
Ejemplo: caucho reciclado	Ejemplo: llantas en hornos cementeros.

El coprocesamiento es una estrategia de gestión y valorización de residuos aplicada en procesos industriales, principalmente en la industria cementera, mediante la cual determinados residuos son utilizados como sustitutos parciales de combustibles fósiles y materias primas tradicionales. Este proceso permite el aprovechamiento energético y material de los residuos bajo condiciones técnicas y ambientales controladas.

Desde un enfoque académico y ambiental, el coprocesamiento se considera una alternativa de economía circular orientada a reducir la disposición final de residuos, optimizar el uso de recursos y disminuir los impactos ambientales asociados al consumo de combustibles convencionales.

6.8 Gestión de aceites en desuso minerales y vegetal

La gestión de aceites minerales y vegetales en desuso comprende el conjunto de actividades técnicas, ambientales y administrativas destinadas a prevenir la contaminación y promover el aprovechamiento de los aceites usados generados en actividades domésticas, comerciales e industriales.

La gestión de aceites usados se basa en:

- Prevención de la contaminación.

- Responsabilidad extendida del generador.
- Economía circular.
- Valorización de residuos.
- Producción más limpia.
- Manejo integral de residuos.

La valorización permite:

- Reducir residuos peligrosos.
- Disminuir el consumo de recursos naturales.
- Recuperar energía y materiales.
- Generar alternativas económicas sostenibles.
- Impulsar procesos de economía circular.

Para una mejor comprensión de la generación de residuos y de la gestión que debe considerarse para su manejo adecuado, en la siguiente tabla se presenta información orientada a su correcta disposición y tratamiento:

Tabla 17: Generación y gestión de residuos de aceite en desuso

Tipo de aceite en desuso	Fuente de generación	Características principales	Riesgos ambientales	Gestión recomendada	Alternativas de valorización
Aceites minerales usados	Talleres mecánicos, industrias, maquinaria pesada, vehículos.	Contienen hidrocarburos, metales pesados y aditivos químicos.	Contaminación de suelo y agua, toxicidad, riesgos de incendio.	Almacenamiento en recipientes herméticos, segregación y entrega a operadores autorizados.	Regeneración, refinación, coprocesamiento, recuperación energética.
Aceites hidráulicos	Equipos industriales y maquinaria.	Alta viscosidad y posible contenido de contaminantes.	Derrames y contaminación industrial.	Recolección diferenciada y control de fugas.	Recuperación energética y reciclaje.
Aceites de transmisión y lubricación	Vehículos y equipos mecánicos.	Residuos peligrosos con contenido metálico.	Contaminación de cuerpos de agua y suelos.	Manejo bajo normativa ambiental.	Re-refinación y reutilización industrial.
Aceites vegetales usados	Restaurantes, hogares, panaderías, industrias alimentarias.	Grasas y aceites biodegradables.	Obstrucción de alcantarillado y contaminación hídrica.	Recolección separada y almacenamiento en recipientes cerrados.	Producción de biodiésel, jabones y aprovechamiento energético.
Grasas y residuos oleosos	Procesos industriales y alimentarios.	Mezcla de aceites y sólidos.	Contaminación y generación de residuos peligrosos.	Segregación y tratamiento especializado.	Recuperación energética y compostaje industrial (según composición).

Fuente: Programa CIERVA.

El manejo de aceites usados se relaciona con el Convenio de Basilea, que regula el movimiento y disposición ambientalmente adecuada de residuos peligrosos.

La adecuada gestión de aceites minerales y vegetales en desuso constituye una estrategia fundamental para la protección ambiental, la reducción de riesgos sanitarios y el aprovechamiento sostenible de residuos. Su correcta implementación requiere procesos de segregación, almacenamiento, transporte y valorización realizados bajo criterios técnicos y normativos (Guía temática 2).

6.9 Residuos sólidos generados por Carreras

De acuerdo con los numerales 4 y 5 del presente documento, en los cuales se identificó la generación de residuos según las diferentes carreras en el marco del diagnóstico realizado, se establece que dichos residuos, tanto en el ámbito de la gestión como en la etapa formativa, deben

ser tratados conforme a las características y particularidades propias de cada tipo de residuo.

En este contexto, las matrices fueron estructuradas considerando las similitudes existentes entre los residuos y sus respectivas fuentes de generación con la finalidad de facilitar su clasificación, manejo y gestión integral.

En esa línea, los contenidos temáticos vinculados a la Gestión de Residuos serán desarrollados de acuerdo con las particularidades y necesidades de cada carrera. Asimismo, los residuos orgánicos e inorgánicos generados compartirán procesos de manejo similares, orientados a garantizar una gestión adecuada mediante la implementación de prácticas de segregación en fuente, aprovechamiento, tratamiento y disposición final ambientalmente responsables.

En referencia al diagnóstico de acuerdo a las carreras para la comprensión se define la matriz por carrera descrito en las siguientes tablas:

Tabla 18: Matriz de Generación de residuos en Gastronomía

Área / Proceso	Actividad	Tipo de Residuo	Clasificación	Manejo Actual	Tratamiento
Recepción de insumos	Descarga de alimentos	Cartón, plásticos	Reciclable	Se desecha mezclado	Separación y reciclaje
Almacenamiento	Conservación	Envases dañados	Reciclable / Rechazo	Basura común	Clasificación adecuada
Preparación	Pelado y corte	Cáscaras, restos orgánicos	Orgánico	Basura común	Compostaje o alimentación animal
Preparación	Manipulación de carnes	Grasas, huesos	Orgánico / Especial	Desecho directo	Reutilización (caldos)
Cocción	Procesos térmicos	Aceites usados	Peligroso	Eliminación inadecuada	Recolección para reciclaje (biodiésel)
Servicio	Atención al cliente	Restos de comida	Orgánico	Basura común	Control de porciones / compostaje
Limpieza	Lavado de utensilios	Aguas con grasa y detergente	Líquido contaminante	Alcantarillado	Trampa de grasas
Administración	Oficina	Papel, cartón	Reciclable	Basura común	Digitalización y reciclaje

Fuente: Programa CIERVA.

Tabla 19: Matriz de Generación de residuos en Construcción civil

Área / Proceso	Actividad	Tipo de Residuo	Clasificación	Manejo Actual	Tratamiento
Preparación del sitio	Limpieza y desbroce	Tierra, vegetación	Orgánico / Inerte	Acumulación	Reutilización en jardinería o relleno
Demolición	Derribo de estructuras	Escombros (hormigón, ladrillo)	Inerte / Reciclable	Disposición final	Trituración y reutilización como agregado
Excavación	Movimiento de tierras	Suelo excedente	Inerte	Desecho	Reutilización en obra o nivelación
Estructura	Mezcla de concreto	Restos de cemento	Inerte / Peligroso (si fresco)	Desecho	Control de cantidades / reutilización
Albañilería	Corte de materiales	Fragmentos de ladrillo, cerámica	Inerte / Reciclable	Mezclado	Clasificación y reciclaje
Instalaciones	Electricidad y plomería	Cables, tuberías (PVC, metal)	Reciclable	Desecho	Recuperación y reciclaje
Acabados	Pintura, revestimientos	Envases, restos de pintura	Peligroso / Reciclable	Eliminación común	Gestión adecuada y uso de productos ecológicos
Carpintería	Trabajo en madera	Aserrín, retazos de madera	Orgánico / Reaprovechable	Desecho	Reutilización o compostaje
Limpieza	Final de obra	Mezcla de residuos	Rechazo	Disposición directa	Separación en origen

Fuente: Programa CIERVA.

Tabla 20: Matriz de Generación de residuos en Industria Textil y Confecciones

Área / Proceso	Actividad	Tipo de Residuo	Clasificación	Manejo Actual	Tratamiento
Recepción de insumos	Embalaje de telas	Plásticos, cartón	Reciclable	Mezclado	Separación y reciclaje
Corte	Corte de tela	Retazos textiles	Reaprovechable / Rechazo	Desecho	Reutilización (patchwork, relleno, reciclaje)
Confección	Costura	Hilos, retazos pequeños	Rechazo / Reaprovechable	Basura común	Clasificación y reducción en origen
Acabados	Lavado / teñido	Aguas residuales con químicos	Peligroso	Descarga	Tratamiento de aguas residuales
Acabados	Uso de tintes	Envases contaminados	Peligroso / Reciclable	Eliminación inadecuada	Gestión con operadores autorizados
Planchado	Acabado final	Consumo energético (no residuo sólido)	Impacto ambiental	Sin control	Eficiencia energética
Control de calidad	Rechazo de prendas	Prendas defectuosas	Reutilizable / Rechazo	Desecho	Donación, reciclaje o reprocesamiento
Almacenamiento	Empaque final	Bolsas plásticas	Reciclable / Rechazo	Basura común	Uso de empaques biodegradables
Limpieza	Mantenimiento	Trapos contaminados, químicos	Peligroso	Desecho	Manejo adecuado y almacenamiento seguro

Fuente: Programa CIERVA.

Tabla 21: Matriz de Generación de residuos en Diseño Gráfico

Área / Proceso	Actividad	Tipo de Residuo	Clasificación	Manejo Actual	Tratamiento
Diseño digital	Uso de computadoras	Consumo energético	Impacto ambiental	Sin control	Equipos eficientes / apagar equipos
Diseño digital	Almacenamiento de archivos	Residuos digitales (datos innecesarios)	No físico (impacto energético)	Sin gestión	Optimización de archivos / almacenamiento en nube
Preprensa	Preparación de archivos	Pruebas impresas	Papel (reciclable)	Desecho	Validación digital previa
Impresión	Producción gráfica	Papel, cartón	Reciclable	Mezclado	Uso de papel reciclado / reducción de tirajes
Impresión	Uso de tintas	Envases, residuos de tinta	Peligroso / Reciclable	Desecho	Tintas ecológicas / gestión adecuada
Acabados	Corte, laminado	Retazos, plásticos	Reciclable / Rechazo	Basura común	Optimización de cortes
Entrega	Empaque de productos	Bolsas, envoltorios	Reciclable / Rechazo	Desecho	Empaques sostenibles
Oficina	Gestión administrativa	Papel, cartuchos de tinta	Reciclable / Peligroso	Desecho	Digitalización / reciclaje de cartuchos

Fuente: Programa CIERVA

Tabla 22: Matriz de Generación de residuos en Mecánica Industrial

Área / Proceso	Actividad	Tipo de Residuo	Clasificación	Manejo Actual	Tratamiento
Recepción de insumos	Desembalaje de piezas	Plástico, cartón	Reciclable	Mezclado	Separación y reciclaje
Mecanizado	Torneado, fresado	Virutas metálicas	Reciclable	Acumulación	Venta/reciclaje como chatarra
Mecanizado	Uso de refrigerantes	Emulsiones contaminadas	Peligroso	Desecho	Tratamiento o regeneración
Mantenimiento	Cambio de aceite	Aceites usados	Peligroso	Almacenamiento básico	Recolección por gestores autorizados
Mantenimiento	Limpieza de piezas	Trapos contaminados	Peligroso	Desecho	Manejo seguro y disposición controlada
Soldadura	Unión de metales	Escoria, electrodos usados	Rechazo/ Reciclable	Desecho	Separación y reciclaje
Pintura	Protección de superficies	Envases, restos de pintura, solventes	Peligroso	Eliminación común	Uso de productos eco y gestión adecuada
Ensamblaje	Montaje	Residuos de empaques	Reciclable	Desecho	Reutilización de embalajes
Limpieza	Lavado de equipos	Aguas con aceites y químicos	Peligroso (líquido)	Descarga	Sistemas de tratamiento (trampas de grasa/ aceite)
Almacenamiento	Gestión de residuos	Mezcla de residuos	Rechazo	Sin clasificación	Implementar puntos de acopio diferenciados

Fuente: Programa CIERVA

Tabla 23: Matriz de Generación de residuos en Sistemas Informáticos

Área / Proceso	Actividad	Tipo de Residuo	Clasificación	Manejo Actual	Tratamiento
Adquisición	Compra de equipos	Embalajes (cartón, plástico)	Reciclable	Desecho	Separación y reciclaje
Uso de equipos	Operación diaria	Consumo energético	Impacto ambiental	Sin control	Equipos eficientes / políticas de ahorro energético
Almacenamiento de datos	Servidores / nube	Residuos digitales (datos innecesarios)	No físico (energético)	Sin gestión	Limpieza de datos / optimización de servidores
Mantenimiento	Reparación de hardware	Componentes dañados	RAEE (reciclable/peligroso)	Acumulación	Reciclaje con gestores autorizados
Sustitución	Renovación de equipos	Computadoras obsoletas	RAEE	Almacenado	Reutilización, donación o reciclaje
Impresión	Documentación	Papel, cartuchos de tinta	Reciclable / Peligroso	Desecho	Digitalización / reciclaje de cartuchos
Redes	Instalación de cableado	Cables, conectores	Reciclable	Desecho	Recuperación y reciclaje
Limpieza	Mantenimiento de equipos	Aire comprimido, químicos	Peligroso	Desecho	Uso responsable y disposición adecuada
Infraestructura TI	Centros de datos	Calor residual (energía)	Impacto ambiental	Sin gestión	Sistemas de enfriamiento eficientes

Tabla 24: Matriz de Generación de residuos en Química Industrial

Área/proceso	Actividad desarrollada	Tipo de residuo generado	Clasificación	Manejo recomendado	Tratamiento
Laboratorio de química general	Preparación de soluciones y reactivos	Restos de reactivos químicos	Peligroso	Segregación y almacenamiento en envases etiquetados	Neutralización o disposición mediante gestor autorizado
Laboratorio analítico	Titulaciones y análisis químicos	Soluciones ácidas y básicas	Peligroso	Almacenamiento diferenciado	Neutralización controlada
Laboratorio orgánico	Síntesis y extracción	Solventes usados	Peligroso	Contenedores herméticos	Recuperación y reciclaje de solventes
Laboratorio instrumental	Uso de equipos analíticos	Residuos electrónicos y cartuchos	Especial	Recolección diferenciada	Gestión de RAEE
Procesos de destilación	Separación de sustancias	Aceites y mezclas contaminadas	Peligroso	Almacenamiento seguro	Coprocesamiento o regeneración
Prácticas de metalurgia/química inorgánica	Uso de sales metálicas	Lodos con metales pesados	Peligroso	Confinamiento y etiquetado	Tratamiento especializado
Lavado de materiales	Limpieza de vidriería y equipos	Aguas residuales contaminadas	Especial	Tratamiento previo	Planta de tratamiento
Taller de mantenimiento	Reparación de equipos	Trapos y guantes contaminados	Peligroso	Disposición en recipientes especiales	Incineración controlada
Áreas administrativas	Actividades de oficina	Papel, cartón y plástico	No peligroso	Separación en fuente	Reciclaje

Cafetería o áreas comunes	Consumo de alimentos	Residuos orgánicos	No peligroso	Recolección diferenciada	Compostaje
Almacén químico	Manejo y almacenamiento de insumos	Envases contaminados	Peligroso	Triple lavado y etiquetado	Gestión autorizada
Prácticas académicas	Uso de material descartable	Guantes, pipetas y mascarillas	Especial/Peligroso	Segregación según contaminación	Disposición controlada

Fuente: Programa CIERVA.

Tabla 25: Matriz de Generación de residuos en Mecánica Automotriz

Área/proceso	Actividad desarrollada	Residuo generado	Clasificación	Características del residuo	Tratamiento
Cambio de aceite	Drenado de aceite de motor	Aceite usado	Peligroso	Inflamable y contaminante	Almacenamiento en recipientes herméticos y entrega a operador autorizado
Mantenimiento de frenos	Reemplazo de pastillas y discos	Pastillas y polvo de freno	Peligroso/Especial	Puede contener metales pesados	Recolección diferenciada y disposición controlada
Cambio de batería	Sustitución de baterías	Baterías de plomo-ácido	Peligroso	Contienen ácido y plomo	Acopio temporal seguro y reciclaje autorizado
Reparación eléctrica	Cambio de cables y componentes	Cables, fusibles y residuos electrónicos	Especial	Contienen metales y plástico	Segregación y entrega a gestor autorizado
Cambio de neumáticos	Sustitución de llantas	Neumáticos fuera de uso (NFU)	Especial	Voluminosos y no biodegradables	Reutilización, reciclaje o coprocesamiento
Limpieza de piezas	Lavado con solventes	Solventes usados y lodos	Peligroso	Inflamables y tóxicos	Almacenamiento seguro y tratamiento especializado
Pintura automotriz	Aplicación de pintura	Envases de pintura y thinner	Peligroso	Inflamables y tóxicos	Segregación y disposición mediante operador autorizado
Soldadura	Reparación de carrocería	Escoria metálica y electrodos	No peligroso/Especial	Contienen residuos metálicos	Recuperación y reciclaje
Cambio de filtros	Sustitución de filtros de aceite y aire	Filtros contaminados	Peligroso	Impregnados con hidrocarburos	Acopio en contenedores cerrados y disposición autorizada
Lavado de vehículos	Limpieza general	Aguas residuales con grasas y detergentes	Especial	Contienen aceites y sólidos suspendidos	Tratamiento mediante separador de grasas
Mantenimiento general	Uso de repuestos	Chatarra metálica	No peligroso	Material reciclable	Clasificación y reciclaje
Actividades administrativas	Oficinas y registros	Papel, cartón y plástico	No peligroso	Residuos reciclables	Separación en fuente y reciclaje

Tabla 26: Matriz de Generación de residuos en Electromecánica

Área/taller	Actividad desarrollada	Residuo generado	Clasificación	Características del residuo	Aprovechamiento /Tratamiento
Taller de electricidad	Instalación y mantenimiento eléctrico	Cables y conductores sobrantes	Aprovechable	Cobre, aluminio y PVC	Segregación y reciclaje
Taller de electricidad	Cambio de luminarias	Focos y tubos fluorescentes	Peligroso	Contienen mercurio	Entrega a gestor autorizado
Taller de automatización	Prácticas con equipos electrónicos	Tarjetas electrónicas dañadas (RAEE)	Peligroso	Contienen metales pesados	Acopio y reciclaje especializado
Taller electro-mecánico	Mantenimiento de motores	Aceites lubricantes usados	Peligroso	Inflamable y contaminante	Almacenamiento en recipientes adecuados y entrega a operador autorizado
Taller electro-mecánico	Limpieza de piezas	Trapos y guantes contaminados	Peligroso	Impregnados con aceites y solventes	Disposición mediante gestor autorizado
Taller de soldadura	Procesos de soldadura eléctrica	Escoria metálica	No peligroso / Aprovechable	Residuos metálicos	Recolección y reciclaje
Taller de soldadura	Corte y desbaste	Virutas y chatarra metálica	Aprovechable	Hierro, acero y aluminio	Clasificación y venta para reciclaje
Taller de mantenimiento	Uso de baterías	Baterías en desuso	Peligroso	Contienen plomo y ácido	Gestión con operador autorizado
Laboratorio de automatización	Uso de sensores y componentes	Componentes electrónicos dañados	Peligroso	Residuos electrónicos	Gestión RAEE
Área de prácticas	Embalajes de equipos	Cartón y plástico	Aprovechable	Material reciclable	Separación en fuente y reciclaje
Taller general	Consumo de insumos	Envases contaminados	Peligroso	Restos de químicos o lubricantes	Triple lavado y disposición autorizada

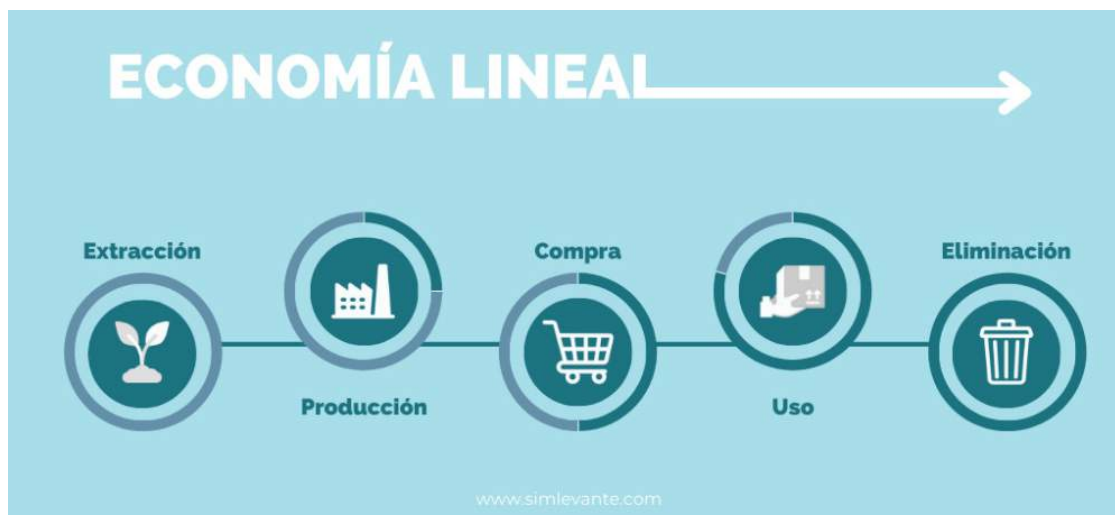
Fuente: Programa CIERVA.

7. PRINCIPIOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

La Economía Circular es un modelo de desarrollo económico que busca mantener el valor de los productos, materiales y recursos en uso durante el mayor tiempo posible, minimizando la generación de residuos y reduciendo la extracción de materias primas vírgenes.

Este enfoque se basa en principios como la prevención de residuos, el ecodiseño, la reutilización, el reciclaje, la valorización de materiales y la regeneración de los sistemas naturales, en contraposición al modelo tradicional de economía lineal de “extraer–producir–desechar”.

Figura 28: Esquema de la Economía Lineal

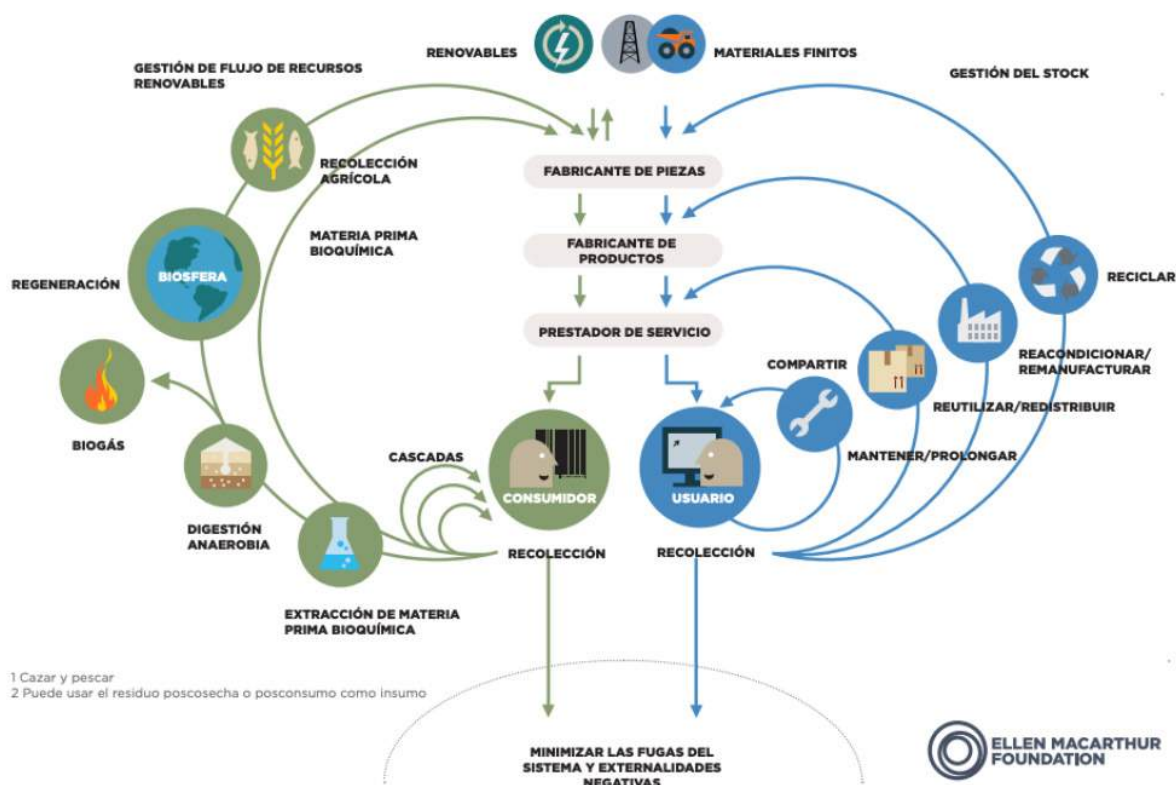


Fuente: <https://www.simlevante.com/sim-levante-y-implicacion-con-economia-circular/>

En el ámbito productivo y de la formación profesional técnica, la economía circular promueve el desarrollo de competencias técnicas verdes, orientadas a la gestión eficiente de recursos, la reducción de

impactos ambientales, la innovación en procesos productivos y la implementación de prácticas sostenibles alineadas con la normativa ambiental vigente y la producción más limpia.

Figura 29: Esquema de Economía Circular



Fuente: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/que-es-la-economia-lineal>

La transición de la economía lineal hacia la economía circular representa un proceso fundamental que aporta beneficios desde su adopción e incorporación en los procesos productivos, de servicios, comerciales e institucionales. Este cambio de paradigma contribuye significativamente a la construcción de ciudades más sostenibles, promoviendo la eficiencia en el uso de recursos y la reducción de impactos ambientales.

Tabla 27: Economía Lineal vs. Economía Circular

Economía Lineal	Economía Circular
Concepto lineal	Concepto circular
Extrae recursos, los procesa y genera productos para consumirlo y desecharlo.	Los recursos extraídos se pueden recuperar para usos ilimitados.
Requiere grandes cantidades de materiales y energía.	La sostenibilidad y la creatividad mandan.
La obsolescencia programada.	Objetivo: lograr alargar la vida útil de los productos.

Fuente: <https://www.simlevante.com/sim-levante-y-implicacion-con-economia-circular/>

8 CADENAS DE VALOR DEL RECICLAJE

Las cadenas de valor del reciclaje se refieren al conjunto de actividades, actores y procesos involucrados en la recuperación, transformación y comercialización de los residuos reciclables, desde su generación hasta su reincorporación como materia prima en nuevos procesos productivos. Estas cadenas permiten aprovechar económicamente los residuos y reducir su impacto ambiental, contribuyendo al desarrollo de la economía circular.

Figura 30: Cadena de Valor del Plástico



Fuente: <https://cempre.org.co/pacto-plasticos/que-es-el-pacto/>

Importancia de las cadenas de valor del reciclaje

Las cadenas de valor del reciclaje permiten:

- Incrementar el aprovechamiento de residuos reciclables.
- Generar empleo verde y oportunidades económicas.
- Reducir la cantidad de residuos destinados a rellenos sanitarios.
- Disminuir el consumo de recursos naturales.
- Fortalecer la economía circular.

En el contexto normativo boliviano, el fortalecimiento de las cadenas de valor del reciclaje es promovido por la Ley N.º 755 de Gestión Integral de Residuos, que impulsa la valorización de residuos y la inclusión de recicladores en los sistemas de gestión.

Tabla 28: Doce estrategias, definiciones e implicaciones para las organizaciones de la Economía Circular

Estrategia	Definiciones e implicaciones para las organizaciones
Ecodiseño	Busca minimizar los impactos ambientales de los productos en el ciclo de vida y los incluye en nuevos diseños. Se pueden diseñar productos que cumplan varias funciones simultáneamente, reducir la cantidad de insumos y favorecer los recursos de bajo impacto ambiental, tales como renovables, no tóxicos, reutilizables, reciclados, entre otros, además de alargar la vida útil del producto (duradero, reparable, actualizaciones fáciles).
Consumo responsable	Identificación de nuevos criterios de adquisición centrados en el uso óptimo de recursos. Compra de productos usados en buen estado por parte del consumidor.
Optimización de la producción	Reducción del uso y consumo de recursos naturales agua, energía, metales, entre otros, en la cadena de valor. Esto implica un mejoramiento de gestión de los datos para rastrear en los sistemas nuevas tecnologías, tales como la fabricación con aditivos, incluida la impresión 3D.
Economía de colaboración del compartir	Abarca una amplia variedad de estrategias comerciales y modelos de comercio para maximizar el uso de los bienes y productos en circulación en el mercado, desde las iniciativas ciudadanas hasta las plataformas comerciales como UBER y Airbnb.
Alquiler	Una organización o persona es propietaria de un bien y cede su uso a un tercero por un período determinado, mediante un contrato de arrendamiento o licencia de uso. Este modelo se aplica, entre otros, a herramientas, vehículos y bienes inmuebles. En el arrendamiento, la gestión de los productos al final de su vida útil puede ser menos eficiente que en la economía funcional, en la que el fabricante conserva la propiedad y, por lo tanto, puede recuperarlos, repararlos y reacondicionarlos más fácilmente. Sin embargo, los propietarios también tienen interés en asegurar el mantenimiento y la reparación adecuada de los bienes, a fin de maximizar el rendimiento de su inversión.
Mantenimiento y reparación	El mantenimiento y la reparación de los productos pueden ser realizados por el propio usuario, por organizaciones especializadas -como talleres de reparación y mantenimiento, la industria del calzado o agrupaciones formales e informales-, así como por el distribuidor o el fabricante. Su objetivo es prolongar la vida útil de los productos y evitar que se conviertan prematuramente en residuos.
Donación y reventa	Poner en circulación productos que ya no se necesitan pero que siguen en buen estado, ya sea directamente o a través de plataformas digitales.
Rehabilitación	Consiste en devolver a un producto o a uno de sus componentes una condición equivalente o muy cercana a la de un producto nuevo, ofreciendo un nivel de calidad y garantía similar. Este proceso es habitual en sectores con equipos de larga vida útil, como el transporte, la maquinaria pesada o el ámbito militar, donde se reacondicionan barcos, trenes, aviones y helicópteros. En el caso de productos de menor tamaño, como los automóviles, el reacondicionamiento suele centrarse en la recuperación y reutilización de componentes.
Economía de la funcionalidad performance economy	Se centra en la venta de productos a los consumidores y compradores, pero la venta del uso; de esta manera, los usuarios compran la función y no el producto en sí. Privilegia el uso frente a la posesión, la venta de un servicio frente a un bien.
Ecología industrial	Consiste en optimizar el uso de los recursos entre las empresas de un territorio, inspirándose en el funcionamiento de los ecosistemas naturales. Para ello, promueve el intercambio o la creación de sinergias mediante el aprovechamiento compartido de materiales, flujos de energía, agua y otros recursos entre dos o más organizaciones, favoreciendo una mayor eficiencia y reduciendo la generación de residuos.
Reciclaje y compostaje	Uso en un proceso de fabricación de un material recuperado para reemplazar un material virgen. Establecer los circuitos de reciclaje más cortos posibles y, por tanto, favorecer los mercados de reciclaje locales frente a los mercados de exportación. Por otra parte, para preservar el valor de los recursos, invita a centrarse en el reciclaje en productos de alto valor añadido. El compostaje aprovecha los materiales que se encuentran en los residuos.
Recuperación de energía energy recovery	La recuperación de energía a través de procesos de tratamiento térmico, como incineración con recuperación de energía, combustión en una caldera industrial o en un horno de cemento, pirólisis y gasificación. Se trata de aprovechar energéticamente los residuos que no se pueden reciclar.

Fuente: Elaboración propia a partir de EDDDEC (2018)

9 PROYECTOS INTEGRADORES DE AULA

9.1 Introducción

La presente sección incorpora un conjunto de procesos prácticos de transformación de residuos sólidos, formulados bajo la modalidad de Proyectos Integradores de Aula (PIA). El término “proyecto integrador” se refiere a una secuencia didáctica que articula los saberes teóricos, prácticos y actitudinales de una o varias Unidades de Competencia, de forma que los estudiantes de los Institutos Técnicos y Tecnológicos (ITTs) operen sobre un proceso real a escala, midan sus resultados y propongan mejoras.

Esta sección complementa de manera más práctica la sección 6.3.5, que aborda los principios del aprovechamiento de residuos orgánicos. Mientras que las secciones previas presentan los conceptos, la presente sección ofrece la operacionalización de esos conceptos en talleres y laboratorios de los ITTs, con equipamiento accesible y replicable, siguiendo el enfoque “residuo → proceso → producto → emprendimiento”.

Los procesos prácticos que se desarrollarán bajo esta modalidad, en orden de progresión didáctica, son:

1. Compostaje aerobio (residuos orgánicos).
2. Densificación de biomasa: briquetas y pellets (biomasa lignocelulósica).
3. Reciclaje mecánico de plásticos por extrusión, inyección y compresión (plásticos posconsumo).
4. Trituración, clasificación granulométrica y producción de áridos reciclados (residuos de construcción y demolición).

Cada proceso se describe con una orientación conceptual y didáctica acompañada de un Anexo de complementación curricular, donde se detallan los objetivos de aprendizaje, los contenidos teóricos mínimos, la descripción técnica del proceso, los diagramas de bloques, los balances de materia y energía simplificados y los criterios de seguridad. El Anexo dirige al docente especializado que diseña la práctica y al estudiante que la ejecuta y la cuantifica.

9.2 Estructura de los Proyectos Integradores de Aula (PIA)

Para asegurar una experiencia formativa coherente entre las distintas carreras y los distintos procesos, cada PIA observa la siguiente estructura uniforme:

- **Residuo de entrada:** tipo y caracterización mínima esperada (composición, humedad, granulometría, contaminantes, etc.).
- **Proceso de transformación:** fundamento físico-químico, etapas operativas, parámetros de control y rangos de operación.
- **Producto de salida:** tipo, especificaciones de calidad mínima esperada, ensayos básicos para su verificación.
- **Balance de materia y energía:** modelo simplificado que permita estimar el rendimiento real y compararlo con valores teóricos.

- **Equipamiento de taller:** lista de equipos, herramientas e insumos con criterios de adquisición o construcción local.
- **Criterios de seguridad operacional:** Equipos de Protección Personal (EPP) específicos, identificación de sustancias peligrosas, protocolos antes, durante y luego de la operación.
- **Vinculación con cadenas locales de valor:** actores potenciales (recolectores, municipios, productores agrícolas, etc.) y estimación de costo-beneficio de la operación a la escala del taller.
- **Carrera ancla y carreras secundarias:** carreras de los ITTs para las cuales el proceso tiene mayor pertinencia, según la Matriz de Competencias por Carrera (Sección 4.2).

libre de patógenos y semillas viables, con valor como bioinsumo para la agricultura urbana y periurbana, y como producto comercializable en mercados de bioinsumos.

Desde el punto de vista termodinámico, el compostaje es una reacción exotérmica espontánea: la materia orgánica, en presencia de oxígeno, agua y microorganismos, libera energía en forma de calor, dióxido de carbono y vapor de agua. El control de las variables operativas (relación carbono/nitrógeno, humedad, aireación, temperatura y tamaño de partícula) permite acelerar, optimizar y dar trazabilidad al proceso, en contraste con la descomposición espontánea en el ambiente, que es más lenta, libera olores y atrae vectores.

El proceso de compostaje atraviesa típicamente cuatro fases sucesivas, identificables por la evolución de la temperatura interna de la pila:

10 PROCESO PRÁCTICO N°1: COMPOSTAJE

10.1 Descripción general del proceso

El compostaje es un proceso biooxidativo controlado, realizado en condiciones aerobias, mediante el cual los microorganismos del suelo (bacterias mesófilas y termófilas³, hongos, actinomicetos⁴ descomponen los residuos orgánicos biodegradables y los transforman en un material húmico estable denominado compost. El compost resultante es un mejorador del suelo de elevada calidad agronómica,

- **Fase mesófila inicial (25 °C – 40 °C, 2 a 4 días):** los microorganismos mesófilos colonizan el sustrato y consumen los compuestos solubles fácilmente degradables (azúcares, aminoácidos).
- **Fase termófila (45 °C – 65 °C, 1 a 3 semanas):** la actividad metabólica eleva la temperatura por encima de los 45 °C; los microorganismos termófilos degradan compuestos más complejos (celulosa, hemicelulosas, lípidos, proteínas). Es la fase de higienización en la que se inactivan patógenos y semillas.

3 Las mesófilas prosperan a temperaturas medias (óptimo de 20 °C a 45 °C) e incluyen a la mayoría de patógenos humanos. Las termófilas prefieren el calor extremo (óptimo de 45 °C a 80 °C) y habitan en fuentes termales o géiseres.

4 Las actinobacterias (Actinomycetota o Actinobacteria) son un filo y clase de bacterias Gram positivas. La mayoría de ellas se encuentran en el suelo, e incluyen algunas de las más típicas formas de vida terrestre, jugando un importante rol en la descomposición de materia orgánica, como la celulosa y quitina. Estas bacterias renuevan las reservas de nutrientes en la tierra y son fundamentales en la formación de humus.

- **Fase de enfriamiento (45 °C → temperatura ambiente, 2 a 4 semanas):** al agotarse las fuentes de carbono más accesibles, la actividad microbiana disminuye y la temperatura desciende; reaparecen los mesófilos y comienzan a degradarse las fracciones más resistentes.
- **Fase de maduración (temperatura ambiente, 1 a 3 meses):** ocurren reacciones de polimerización y condensación que dan lugar a las sustancias húmicas⁵, responsables de la estabilidad y la calidad agronómica del compost final.

La duración total del proceso varía entre 8 y 16 semanas para compostaje en pilas

a la intemperie, y entre 4 y 8 semanas en sistemas controlados (compostadores cerrados, biorreactores de aireación forzada).

10.2 Variables clave del proceso

El éxito del proceso de compostaje depende del control de cinco variables operativas principales. La siguiente tabla resume los rangos óptimos y los valores aceptables, así como los métodos de medición o estimación accesibles a nivel de taller de ITT.

Tabla 29: Variables operativas del compostaje y sus rangos de control

Variable	Rango óptimo	Rango aceptable	Método de medición	Acción correctiva si se aparta
Relación C/N (inicial)	25 – 30	20 – 35	Análisis elemental o estimación por tabla de composición	Si C/N < 20: añadir material seco (paja, aserrín, cartón). Si C/N > 35: añadir material verde o estiércol.
Humedad (% peso)	50 – 60 %	40 – 65 %	Prueba del puño cerrado o pesada antes/ después de secado	Si < 40 %: regar con agua dispersa. Si > 65 %: añadir material seco y voltear para airear.
Temperatura (fase termófila)	55 °C – 60 °C	45 °C – 70 °C	Termómetro o termocupla de 50 cm (1 vez/día)	Si > 70 °C: voltear de inmediato (riesgo de muerte microbiana). Si no sube de 45 °C: ajustar C/N o humedad.
pH	6,5 – 8,0	5,5 – 8,5	Tiras de pH o pH metro	Si pH < 5,5: añadir cal agrícola o ceniza. Si pH > 8,5: añadir material ácido (residuos de frutas).
Aireación (frecuencia de volteo)	Cada 5 – 7 días	Cada 3 – 10 días	Observación visual de actividad y temperatura	Si hay olores anaerobios (a amoníaco o ácido): voltear de inmediato; revisar exceso de humedad.
Tamaño de partícula	2 – 5 cm	1 – 8 cm	Inspección visual o tamizado	Si las partículas son muy grandes: triturar o desfibrar. Si son muy finas: compactación y riesgo anaerobio.

10.3 Pertinencia formativa en los ITTs

De acuerdo con la Matriz de Competencias Específicas por Carrera (Sección 4.2), el compostaje tiene relación natural en

Gastronomía, dado que esta carrera genera, en sus propios talleres y prácticas, los residuos orgánicos que servirán de sustrato para el proceso (UC-4 y UC-5). Sin embargo, la pertinencia formativa se extiende a otras carreras:

⁵ Las sustancias húmicas son compuestos orgánicos complejos que constituyen la mayor parte del humus, la fracción principal de la materia orgánica en los suelos. Se forman de manera natural durante el proceso de humificación, cuando residuos de plantas y animales se descomponen por la acción de microorganismos.

- Gastronomía (ancla): vincula directamente la generación del residuo en cocina con su valorización; integra los principios de aprovechamiento integral de alimentos.
- Construcción Civil (alta pertinencia): los residuos de jardinería de obras y áreas verdes constituyen materia prima ideal por su alta relación C/N.
- Química Industrial (alta pertinencia): como carrera eje, aporta la caracterización fisicoquímica de los residuos y del producto final, los balances de materia y los protocolos de análisis.
- Carreras transversales: Sistemas Informáticos (sensores de registro y seguimiento del proceso), Mecánica Industrial (diseño de compostadores y trituradoras).

10.4 Producto, valor agregado y vinculación con cadenas de valor

El compost terminado, una vez maduro y estabilizado, es comercializable en los siguientes mercados:

- Agricultura urbana y periurbana: huertos comunitarios, viveros, jardinería ornamental.
- Sustrato para producción de plantines y germinaciones.
- Enmienda orgánica para suelos agrícolas en proceso de recuperación o de baja fertilidad.
- Insumo para mezclas con suelo en proyectos de revegetación, restauración de áreas degradadas y techos verdes.

El precio de mercado del compost de calidad en Bolivia, según referencias municipales (proyectos Ecovecindarios y similares), se encuentra en un rango

aproximado de 1,50 a 3,50 Bs/kg, con valores superiores para vermicompost (humus de lombriz), que alcanza 5,00 a 8,00 Bs/kg en presentaciones envasadas. Estas referencias deben ajustarse al contexto local de cada ITT y al momento de la operación.

La articulación con cadenas de valor locales se realiza preferentemente con:

- Gobiernos municipales (programas de gestión de residuos orgánicos y huertos urbanos).
- Asociaciones de productores ecológicos y ferias agroecológicas.
- Empresas privadas con programas de responsabilidad social ambiental que requieren compost para sus áreas verdes corporativas.
- Familias y emprendimientos del entorno del ITT como compradores minoristas.

10.5 Remisión al Anexo

La descripción anterior provee al o la docente una visión general del proceso de compostaje, suficiente para introducir el tema en el aula, distinguirlo de procesos relacionados (digestión anaerobia, lombricultura, descomposición no controlada) y vincularlo con las cadenas de valor locales. Para la implementación efectiva del proyecto integrador —con sus objetivos de aprendizaje formulados como competencias, sus contenidos teóricos mínimos detallados, sus balances de materia y energía, sus diagramas de bloques y sus criterios de seguridad operacional— se remite al Anexo I del presente documento.

El Anexo 2 está dirigido a docentes especializados/as en el área y a estudiantes

avanzados/as que ejecutarán la práctica. Su carácter es técnico-operativo y constituye la base para la fase de capacitación in situ docente.

11 PROCESO PRÁCTICO N°2: DENSIFICACIÓN DE BIOMASA

Para los ITTs, la densificación de biomasa tiene un valor formativo singular. A diferencia de los procesos biológicos (compostaje, digestión anaerobia) o del reciclaje mecánico de plásticos, no requiere reactivos químicos, no involucra temperaturas superiores a 200 °C en la mayoría de sus variantes y puede iniciarse con equipos contruidos con materiales de bajo costo: prensas de tornillo, prensas hidráulicas artesanales, moldes de tubo de PVC, lo que lo convierte en el proceso de mayor accesibilidad de equipamiento de toda la secuencia. Al mismo tiempo, el proceso introduce al estudiante en conceptos fundamentales de ingeniería de materiales: humedad de equilibrio, poder calorífico, densidad aparente, compresibilidad y transferencia de calor por conducción, conceptos que se extienden luego a los procesos de mayor complejidad (pirólisis, plásticos).

La secuencia del proceso comprende cuatro etapas principales: caracterización y secado de la biomasa, trituración o molienda, compactación (por prensado manual, hidráulico o extrusión de tornillo) y curado o estabilización del producto terminado. Como variante de mayor valor agregado, el proceso puede complementarse con la carbonización de la biomasa en horno de tambor para producir biocarbón o carbón vegetal que luego se compacta en briquetas de carbón de mayor poder calorífico y menor contenido de humedad.

11.1 Descripción general del proceso

La densificación de biomasa es un proceso mecánico de compactación que incrementa la densidad aparente de la biomasa suelta, típicamente 80–200 kg/m³ hasta valores de 600–1 200 kg/m³ en el producto terminado. Este incremento de densidad reduce el volumen de almacenamiento, facilita el transporte, homogeneiza el poder calorífico por unidad de volumen y mejora el comportamiento de combustión: las briquetas y los pellets arden de forma más controlada y con menor emisión de hollín que la biomasa suelta.

El mecanismo de compactación se basa en tres fenómenos simultáneos que ocurren bajo la presión de compactación:

- Reordenamiento de partículas: en la primera fase de la compresión, las partículas de biomasa se reorganizan eliminando los espacios vacíos entre ellas. No hay deformación del material, solo acomodamiento geométrico.
- Deformación elástica y plástica de las fibras: a mayor presión, las fibras de celulosa y hemicelulosa se deforman elásticamente (recuperable) y luego plásticamente (permanente), aumentando el área de contacto entre partículas.
- Unión por puentes de lignina: la lignina, presente en proporciones de 18–35 % en la mayoría de las biomásas leñosas, actúa como ligante natural cuando es plastificada por calor (por encima de 80–120 °C) o por la presión y fricción generadas en la extrusora de tornillo. Al enfriarse, la lignina solidificada forma los puentes de cohesión que dan resistencia mecánica al producto sin necesidad de ligantes externos en la mayoría de las biomásas.

11.2 Materias primas disponibles en los ITTs y su entorno

La disponibilidad de biomasa lignocelulósica de bajo costo es el factor determinante para la viabilidad del proceso en cada ITT. Las fuentes más accesibles en el contexto boliviano son:

- Aserrín y virutas de carpintería: generados en los propios talleres de Construcción Civil y Mecánica Industrial; densidad aparente suelta 100–200 kg/m³; humedad típica 15–30 %.
- Cáscaras de granos (quinua, cebada, arroz, maíz): disponibles en áreas de producción agroindustrial cercanas a los ITTs de El Alto, Cochabamba y de los valles; humedad típica 10–15 %; contenido de cenizas variable.
- Paja de cereales y rastrojos: abundante en altiplano y valles; densidad aparente suelta 50–100 kg/m³; requiere triturado previo y humedad estacional.
- Restos de podas y ramas pequeñas ($\leq$ 5 cm de diámetro): de jardinería del ITT y del municipio; requieren triturado o astillado previo.
- Cartón y papel sin mezclar con plástico: fuente secundaria, de menor poder calorífico, pero con excelente comportamiento de compactación.
- Bagazo de caña de azúcar (disponible en Chapare, Santa Cruz y regiones cañeras): alta producción masiva, humedad 45–55 % en fresco; debe secarse antes del proceso.

11.3 Briquetas vs. Pellets: diferencias clave

Tabla 30: Comparación entre Briquetas y Pellets como productos de la clasificación de biomasa

Característica	Briquetas	Pellets
Tamaño típico	Ø 50–100 mm, longitud 100–300 mm	Ø 6–10 mm, longitud 10–30 mm
Densidad aparente	600 – 900 kg/m ³	900 – 1 200 kg/m ³
Granulometría de la materia prima	5 – 25 mm (más gruesa; tolera partículas mayores)	< 4 mm (requiere molienda fina)
Presión de compactación	50 – 200 MPa (prensa manual o hidráulica)	100 – 250 MPa (extrusora de dado con orificios)
Temperatura del proceso	Ambiente (prensa fría) o 80–150 °C (prensa caliente)	80–150 °C (generada por fricción en el dado o por calefacción externa)
Equipo necesario	Prensa manual de tornillo, hidráulica o de émbolo; molde cilíndrico o prismático. Fabricable en taller de ITT.	Peletizadora con dado perforado (ring die o flat die). Mayor complejidad; puede adaptarse de picadora de forraje.
Poder calorífico inferior (PCI) típico	14 – 17 MJ/kg (madera seca)	17 – 19 MJ/kg (madera seca)

11.4 Variables operativas clave

Tabla 31: Variables operativas de la densificación de biomasa y sus rangos de control

Variable	Rango óptimo	Rango aceptable	Método de medición	Acción correctiva
Humedad de la biomasa (% base húmeda)	10 – 15 %	8 – 20 %	Pesada antes y después de secado en horno a 105 °C × 1 h	Si > 20 % secar al sol (1–3 días) o en horno. Si < 8 % el material pierde cohesión; humedecer uniformemente hasta 12 %.
Granulometría de la materia prima	Briquetas: 5–25 mm Pellets: < 4 mm	Briquetas: hasta 30 mm Pellets: < 6 mm	Tamiz de abertura apropiada (15 mm para briquetas; 4 mm para pellets)	Si partículas > límite triturar o moler de nuevo. Finos < 1 mm en exceso reducen cohesión, mezclar con partículas más gruesas.
Presión de compactación (MPa)	100 – 200 MPa (briquetas)	50 – 250 MPa	Estimación por fuerza aplicada (kN) / área del molde (mm ²). En prensa hidráulica: lectura del manómetro.	Si la briqueta se desmorona aumentar presión o agregar ligante. Si hay rebaba excesiva reducir carga de material o presión.
Temperatura del dado o del molde (°C)	80 – 150 °C (para activar la lignina)	Ambiente – 160 °C	Termómetro de contacto sobre el molde o termocupla tipo K	Si T < 80 °C y el producto se desintegra aplicar calor al molde (resistencia de banda). Si T > 160 °C riesgo de carbonización superficial; bajar T o velocidad.
Contenido de ligante (% de la masa seca)	0 % (sin ligante, para maderas con > 25 % lignina) o 3–8 % (almidón, melaza, arcilla)	0 – 12 %	Pesada del ligante en balanza; mezcla homogénea visual	Si el producto sin ligante no tiene cohesión añadir almidón de yuca gelatinizado (5 %) o melaza diluida (8 %). Superar 12 % reduce el PCI.

11.5 Pertinencia formativa en los ITTs

- Mecánica Industrial (carrera ancla principal): diseño y fabricación de la prensa de tornillo o hidráulica, los moldes cilíndricos, la trituradora de biomasa y los accesorios de compactación.
- Química Industrial (alta pertinencia): caracterización de la biomasa (humedad, poder calorífico, contenido de cenizas, porcentaje de lignina), análisis inmediato y diseño de mezclas con ligantes.
- Electromecánica Industrial (alta pertinencia): sistema eléctrico de la prensa caliente (resistencias, controladores de temperatura) y del motor reductor de la trituradora.
- Construcción Civil (pertinencia media-alta): la mayor fuente de aserrín y virutas en el ITT es el propio taller de Construcción Civil; los estudiantes son generadores directos de la materia prima.
- Gastronomía (pertinencia media): las briquetas y el carbón producido pueden usarse en los quemadores del taller de cocina del ITT, cerrando el ciclo de manera visible y motivadora.

11.6 Productos, valor agregado y vinculación con cadenas de valor

Briquetas de biomasa: combustible sólido para cocción, panadería artesanal, calefacción escolar y secado de granos. Precio de mercado referencial en Bolivia: 2–5 Bs/kg (competitivo frente a leña seca $\approx$ 1–2 Bs/kg por menor emisión y mayor comodidad de manejo).

Pellets de madera: combustible de mayor valor por su uniformidad y densidad; demandados por hornos de cerámica artesanal, panaderías industriales y proyectos de calefacción distrital.

Briquetas de carbón (biocarbón prensado): producto de mayor poder calorífico inferior (PCI 25–30 MJ/kg) obtenido carbonizando la biomasa en horno de tambor antes del prensado. Alta demanda en cocción doméstica (sustituto del carbón mineral). Precio referencial: 5–10 Bs/kg.

Los actores de articulación local incluyen municipios (programas de manejo de podas), carpinterías que generan aserrín sin destino, panaderías y hornos artesanales que demandan combustible sólido, y asociaciones de mujeres productoras que usan estufas de biomasa en el área rural.

11.7 Remisión al Anexo

La descripción anterior provee la comprensión general del proceso de densificación de biomasa, las materias primas disponibles en el entorno boliviano y los dos productos principales (briquetas y pellets). El tratamiento técnico-cuantitativo completo con objetivos de aprendizaje, balances de materia y energía, diseño de equipos

autoconstruidos, diagramas de bloques y criterios de seguridad, se desarrolla en el Anexo 3 del presente documento.

El Anexo 3 está dirigido a docentes especializados/as en el área y a estudiantes avanzados/as que ejecutarán la práctica. Su carácter es técnico-operativo y constituye la base para la fase de capacitación *in situ docente*.

12. PROCESO PRÁCTICO N°3: RECICLAJE MECÁNICO DE PLÁSTICOS

La secuencia del proceso comprende cinco etapas: identificación y clasificación de plásticos por tipo de resina, limpieza y secado, trituración o molienda, conformado del plástico fundido (extrusión, inyección o compresión) y acabado del producto terminado. El conjunto permite transformar botellas, tapas, envases y bolsas en materia prima para nuevos objetos: baldosas, muebles escolares, soportes y utensilios, con valor de uso directo en el ITT y en la comunidad circundante.

12.1 Descripción general del proceso

El reciclaje mecánico de plásticos consiste en la aplicación de energía térmica y mecánica para fundir el plástico post-consumo, sin alterar su estructura química fundamental, y conformarlo en un nuevo producto mediante moldes o matrices. A diferencia del reciclaje químico (pirólisis), que rompe las cadenas poliméricas, el reciclaje mecánico conserva el polímero y puede repetirse varias veces, aunque con cierta degradación de propiedades en cada ciclo.

El fundamento físico del proceso reside en la viscoelasticidad de los polímeros termoplásticos: por encima de su temperatura de transición vítrea⁶(Tg) o de fusión (Tm), las cadenas poliméricas ganan movilidad y el material puede fluir, moldearse y solidificarse al enfriarse, conservando la forma del molde. El proceso se aplica exclusivamente a termoplásticos⁷ (PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS y otros) y no a termoestables⁸ (resinas epoxi, baquelita) ni elastómeros vulcanizados⁹ (neumáticos), que no se funden de manera reversible.

12.2 Identificación y clasificación de plásticos por código SPI

El primer paso y el más crítico del proceso es la correcta identificación de la resina. La mezcla de resinas incompatibles en la extrusora produce un material de propiedades mecánicas muy inferiores y puede dañar el equipo. La identificación se realiza mediante el *Código Internacional de Resinas (SPI)*, impreso en la base de la mayoría de los envases con el símbolo de reciclaje numerado del 1 al 7.

Tabla 32: Códigos SPI de resinas termoplásticas, propiedades térmicas clave y aplicaciones.

Cód.	Sigla	Nombre	Tg (°C)	Tm (°C)	Procesamiento (°C)	Envases / aplicaciones típicas
1	PET	Poliétilentereftalato	70 – 80	250 – 260	260 – 290	Botellas de agua y bebidas gaseosas, envases de aceite, fibras textiles.
2	HDPE	Poliétileno de alta densidad	-130	130 – 135	200 – 230	Envases de detergente, champú, leche, Tapas, tanques, tuberías.
3	PVC	Policloruro de vinilo	80 – 85	170 – 180	160 – 190	Tuberías, cables, tarjetas, ventanas. ¡EXCLUIR del proceso por emisión de HCl al fundir!
4	LDPE	Poliétileno de baja densidad	-125	105 – 115	180 – 220	Bolsas de supermercado, film, envases flexibles, tapas blandas.
5	PP	Polipropileno	-10	160 – 170	200 – 250	Tapas de botella, contenedores de alimentos, pajitas, fibras, autopartes.
6	PS	Poliestireno	100	–	200 – 240	Vasos descartables, envases de yogur, espuma (EPS). Limitar: genera estireno al fundir.
7	Otros	PC, ABS, Nylon, mezclas	Variable	Variable	Variable	No procesar sin identificar exactamente la resina. Alta incompatibilidad de mezclas.

Regla práctica de campo para identificar resinas sin código impreso

Cuando el envase no tiene el código SPI visible, se pueden usar los siguientes métodos cualitativos:

- Prueba de flotación en agua: HDPE y PP flotan (densidad < 1 g/cm³); PET, PVC y PS se hunden (densidad > 1 g/cm³).
- Prueba de quemado (sólo en espacio abierto y ventilado, con EPP): PE arde fácil, llama azul con bordes amarillos y gotea; PP similar al PE pero más rígido; PET arde con humo negro espeso y olor dulce; PVC genera llama verde y humo blanco ácido (¡EXCLUIR de inmediato!); PS arde con mucho hollín.
- Prueba de doblado: HDPE cede sin crujir; PP cruje y blanquea en el doblez; PET cruje y se quiebra limpiamente.

6 La transición vítrea es el cambio físico y reversible en materiales amorfos (como plásticos, vidrios o alimentos) que los hace pasar de un estado sólido duro y quebradizo a uno gomoso o flexible a medida que se calientan

7 Los termoplásticos son polímeros que se ablandan y funden al calentarse, y se endurecen al enfriarse. Este proceso de moldeo es reversible, lo que significa que pueden fundirse, moldearse y reciclarse múltiples veces sin que sus propiedades químicas se alteren significativamente.

8 Los materiales termoestables (o polímeros termoendurecibles) son plásticos que sufren una reacción química irreversible al moldearse. Forman una red tridimensional de enlaces cruzados que los hace rígidos, insolubles e infusibles; es decir, no se pueden fundir ni remodelar con el calor y no son reciclables.

9 Los elastómeros vulcanizados son polímeros elásticos cuyas cadenas moleculares están unidas químicamente mediante enlaces cruzados (creados con azufre, peróxidos o calor). Este proceso estabiliza el material, mejorando su resistencia, durabilidad, elasticidad y evitando que se deforme permanentemente frente al calor o la tracción

12.3 Los tres modos de conformado: extrusión, inyección y compresión

Extrusión: El plástico triturado se alimenta a un husillo helicoidal rotatorio que plastifica el material por fricción y calor, y lo empuja a través de una boquilla (dado) con la forma del perfil de salida: varilla, tubo, lámina, hilo. El producto sale de forma continua. La extrusora de husillo simple tipo *Precious Plastic* (L/D ≈ 20–25) puede construirse en un taller de Mecánica Industrial con tubo de acero, motor de lavadora y resistencias de horno eléctrico.

Inyección: El plástico fundido se inyecta a presión dentro de un molde cerrado. Al solidificarse toma la forma del molde y es expulsado como pieza discreta. La máqui-

na de inyección artesanal tipo *Precious Plastic* consiste en un cilindro con resistencias calefactoras y un émbolo manual o de palanca que empuja el fundido al molde de aluminio, acero o madera dura. Permite fabricar piezas pequeñas como botones, herrajes, accesorios, juguetes, utensilios.

Compresión: El plástico triturado o en lámina se deposita directamente en un molde abierto y se prensa con calor (prensa de platos calientes). Es el proceso más sencillo de implementar: permite fabricar baldosas, tableros, macetas, objetos planos. La prensa puede construirse con dos platos de acero, resistencias calefactoras (de plancha doméstica o de horno) y un gato hidráulico de 2–5 toneladas. Es el punto de entrada recomendado para ITTs que inician el proceso.

12.4 Variables operativas clave

Tabla 33: Variables operativas del reciclaje mecánico de plásticos por tipo de proces

Variable	Extrusión	Inyección	Compresión	Aplica a resinas	Acción correctiva si se aparta
Temperatura de proceso (°C)	180 – 260 (según resina)	180 – 260 (según resina)	160 – 200 (según resina)	Ver Tabla 6.3.10.4	Si T muy alta: degradación (humo oscuro, quemado). Si T muy baja: material sin fundir, obstrucción. Ajustar por tramos de 5 °C.
Velocidad del husillo / presión de émbolo	10 – 60 RPM	Lenta: 1–3 emboladas/min	N/A	Todos	Velocidad demasiado alta = tiempo insuficiente de fusión; demasiado baja = degradación térmica por permanencia excesiva.
Humedad del material pre-proceso (%)	< 0,5 %	< 0,5 %	< 1,0 %	PET: < 0,02 % (crítico)	Si hay humedad: burbujas visibles en el producto. Solución: secar en horno a 80 °C por 2–4 h antes de procesar.
Granulometría del triturado (mm)	5 – 15 mm	5 – 10 mm	5 – 20 mm	Todos	Partículas muy grandes: atasco de la extrusora. Muy finas: compactación prematura y baja fluidez. Tamizar con criba de 15 mm.
Presión de compresión (t)	N/A	N/A	2 – 5 t para baldosa 20×20 cm	PP, HDPE, LDPE (los más recomendados para compresión)	Presión insuficiente: porosidad y delaminación ¹⁰ . Exceso: deformación del molde artesanal.
Tiempo de enfriamiento en molde (min)	N/A (continuo)	2 – 10 min	5 – 20 min	Todos	Desmolde prematuro = deformación de la pieza. Esperar hasta que la pieza no esté caliente al tacto.

¹⁰ La delaminación es un modo de falla donde un material se fractura o se separa en capas paralelas. Ocurre cuando la adhesión interna o el agente aglutinante entre láminas falla, ya sea por estrés mecánico, defectos de fabricación o acumulación de humedad.

12.5 Pertinencia formativa en los ITTs

El reciclaje mecánico de plásticos es el PIA con mayor amplitud de pertinencia formativa en la matriz de carreras de los ITTs, dado que involucra competencias de diseño mecánico (fabricación de equipos), procesos industriales (extrusión, inyección, compresión), ciencias de materiales (polímeros), y diseño de producto (moldes y aplicaciones).

- Mecánica Industrial y Electromecánica Industrial (carreras ancla): diseño y fabricación de la trituradora, la extrusora de husillo y la prensa de compresión; selección de motores, resistencias y controladores de temperatura.
- Química Industrial (alta pertinencia): identificación de resinas, caracterización de propiedades térmicas, control de calidad del producto (densidad, dureza Shore, ensayo de tracción sencillo).
- Electricidad Industrial (alta pertinencia): diseño del sistema eléctrico de las máquinas: resistencias calefactoras, termocuplas, controladores PID de temperatura, motores y protecciones eléctricas.
- Diseño Gráfico (pertinencia media-alta): diseño de moldes para inyección o compresión a partir de planos 2D; etiquetado y presentación del producto terminado; diseño de la imagen del emprendimiento de reciclaje.
- Construcción Civil (pertinencia media): los áridos plásticos reciclados y las baldosas producidas son directamente aplicables como materiales alternativos de construcción; vinculación con el PIA N.º 6 (RCD).

12.6 Productos, valor agregado y vinculación con cadenas de valor

Los productos del reciclaje mecánico de plásticos tienen demanda concreta en tres categorías:

- Materiales de construcción: baldosas y placas de HDPE/PP/LDPE reciclado (20×20 cm, espesor 6–10 mm) para pisos de patios o jardines; bloques para bancos y muebles escolares. Precio de mercado referencial: 15–40 Bs/baldosa de 20×20 cm, según densidad y acabado.
- Insumos para el propio ITT: soportes, bandejas, separadores, accesorios para talleres; macetas para huertos escolares; herrajes y mangos para herramientas.
- Productos de diseño y venta directa: joyería, accesorios, llaveros, utensilios y objetos de arte (aprovechando la carrera de Diseño Gráfico) que se pueden comercializar en ferias escolares, mercados artesanales y plataformas de venta local.

Los actores de articulación con cadenas de valor locales incluyen:

- Empresas de reciclaje formal que compran pellet o granulo extrudido de plástico reciclado.
- Municipios con programas de recolección diferenciada que necesitan centros de acopio y preprocesamiento.
- Proyectos de construcción alternativa que usan baldosas o tableros de plástico reciclado.
- Emprendimientos de economía circular que encadenan la recolección, el procesamiento y la venta de productos terminados.

12.7 Remisión al Anexo

La descripción anterior provee al o la docente y al o la estudiante la comprensión general del proceso, los conceptos de identificación de resinas y los tres modos de conformado, suficientes para introducir el tema en el aula y vincular el proceso

con las cadenas de valor locales. Para la implementación técnica con: objetivos de aprendizaje, balances de materia y energía, diseño de equipos de bajo costo, diagramas de bloques y criterios de seguridad operacional, se remite al Anexo 4 del presente documento.

13 PROCESO PRÁCTICO N°4: TRITURACIÓN, CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA Y PRODUCCIÓN DE ÁRIDOS RECICLADOS

El proceso comprende cuatro etapas principales: recepción y caracterización de residuos de construcción y demolición (RCD) entrante, trituración primaria y secundaria hasta obtener árido grueso reciclado (AGR, fracción > 4,75 mm) y árido fino reciclado (AFR, fracción < 4,75 mm), clasificación granulométrica por tamizado, y uso del árido reciclado en la fabricación de bloques, adoquines y morteros de sustitución parcial. La escala de taller de los ITTs permite trabajar con trituradora de mandíbula artesanal o con mazo y placa de impacto para lotes de 20–100 kg, produciendo suficiente material para ensayos de caracterización y para la fabricación de piezas de demostración.

13.1 Descripción general del proceso

Los RCD son una mezcla heterogénea de materiales pétreos e inorgánicos con propiedades físicas y mecánicas muy distintas según su origen (obras de demolición, obras nuevas, reformas). Su transformación en áridos reciclados útiles requiere, antes que cualquier procesamiento mecánico, una segregación cuidadosa que separe las fracciones valorizables (concreto, ladrillo, cerámica) de los contaminantes que reducen la calidad del producto final (yeso, madera, plásticos, metales, asfalto). La calidad del árido reciclado depende directamente de la calidad de la segregación en origen.

Desde el punto de vista físico, la trituración de RCD transforma piezas de gran tamaño (bloques de concreto, escombros de mampostería) en partículas de granulometría controlada mediante la aplicación de esfuerzos mecánicos de compresión, impacto y cizallamiento que superan la resistencia a la fractura del material. El proceso reproduce a escala de taller los principios de las trituradoras industriales de mandíbula, cónicas e impactoras, utilizando equipos artesanales contruidos en el ITT o herramientas manuales disponibles en cualquier obra de construcción.

13.2 Clasificación de los RCD según su aptitud para el reciclaje

Tabla 34: Clasificación de las fracciones de RCD y su aptitud para producción de áridos reciclados

Fracción	Origen típico	Aptitud para árido reciclado	Características y limitaciones	Recomendación de uso
Concreto triturado (CC)	Demolición de losas, columnas, vigas, cimentaciones	ALTA. Árido grueso y fino reciclado de calidad media-alta.	Resistencia: 20–40 MPa; absorción de agua alta (3–8 %) por el mortero adherido; densidad aparente menor que el árido natural.	Sustitución del 20–30 % de árido natural en concreto no estructural, bloques y morteros de relleno.
Mampostería y ladrillo (ML)	Muros de ladrillo cocido, bloques de arcilla, tabiques	MEDIA. Árido fino de menor calidad mecánica.	Absorción alta (10–20 %); menor resistencia mecánica que el CC; presencia de mortero adherido; alta porosidad.	Árido fino para rellenos, sub-bases de pavimento, morteros de baja resistencia, ladrillos de tierra comprimida.

Fracción	Origen típico	Aptitud para árido reciclado	Características y limitaciones	Recomendación de uso
Cerámica y porcelana	Pisos, revestimientos, sanitarios	MEDIA-BAJA. Árido fino decorativo o de relleno.	Dureza alta (difícil trituración); baja absorción; formas angulares; resistente a la comprensión.	Árido para morteros decorativos, relleno de zanjas, árido para drenaje filtrante.
Yeso y escayola	Tabiques de yeso laminado, revoques	BAJA. EXCLUIR del árido para concreto.	El sulfato de calcio reacciona con el aluminato tricálcico del cemento produciendo etringita expansiva, que fisura el concreto.	Segregar y disponer de forma diferenciada. NO mezclar con árido de concreto.
Mezclas y RCD mixto	RCD sin segregar, mezcla de todas las fracciones	BAJA. Calidad variable e incontrolable.	Alta variabilidad de propiedades; presencia probable de contaminantes (yeso, plástico, madera).	Solo apto para sub-bases de caminos o rellenos de baja exigencia, con dosificación conservadora.

13.3 Las dos fracciones de árido reciclado y sus aplicaciones

Árido grueso reciclado (AGR, > 4,75 mm): es la fracción más valiosa del proceso. Puede sustituir parcialmente (20–30 %) al árido natural de canto rodado o de cantera en la fabricación de concreto no estructural, bloques de hormigón, adoquines peatonales y morteros de mampostería. La sustitución parcial es la práctica técnicamente recomendada, dado que el árido reciclado presenta mayor absorción

de agua y menor resistencia que el árido virgen.

Árido fino reciclado (AFR, < 4,75 mm): la fracción fina tiene mayor variabilidad de propiedades y se recomienda para aplicaciones de menor exigencia: sub-bases granulares compactadas, relleno de zanjas, suelo-cemento, morteros de nivelación, ladrillos de tierra comprimida y árido para drenaje. No se recomienda para sustituir arena de río en mezclas de concreto sin ensayos previos de calidad.

13.4 Variables operativas clave

Tabla 35: Variables operativas del proceso de trituración y clasificación de RCD

Variable	Rango óptimo	Rango aceptable	Método de control	Acción correctiva
Tamaño máximo de entrada a la trituradora (mm)	≤ 150 mm	≤ 200 mm	Inspección visual y medición manual	Si piezas > 200 mm: partir con mazo de demolición antes de introducir las en la trituradora.
Tamaño máximo del árido grueso (mm)	19 mm (3/4")	12,5 – 25 mm	Tamiz ASTM 3/4" (19 mm) o ISO equivalente	Si árido grueso > 25 mm: segunda pasada por la trituradora o aumentar apertura de muela.
Contenido de yeso en el árido (% en masa)	< 1 %	< 3 %	Inspección visual por segregación en origen; disolución en agua (el yeso se disuelve parcialmente)	Si yeso > 3 %: rechazar el lote para concreto; destinar solo a relleno. Mejorar segregación en la siguiente carga.
Contenido de contaminantes livianos (plástico, madera, papel) en %	< 0,5 %	< 1,0 %	Separación manual en la zaranda o en la cinta de inspección post-triturado	Limpieza manual del triturado sobre zaranda vibratoria artesanal. Los flotantes (plástico, madera) se retiran con soplador o soplado manual.
Humedad superficial del árido reciclado (%) para dosificación de concreto	Saturado con superficie seca (SSD)	3 – 8 % de absorción	Inmersión de muestra en agua 24 h, secado superficial y pesada (método gravimétrico)	Pre-humedecer el árido reciclado durante 30 min antes de la dosificación para evitar que absorba el agua de amasado del concreto.
Módulo de finura del árido fino reciclado	2,2 – 3,2	1,8 – 3,5	Cálculo con curva granulométrica por tamizado (ver §A.6.2)	Si MF < 1,8: árido muy fino, usar solo en mortero. Si MF > 3,5: árido grueso; reclasificar como AGR o triturar de nuevo.

13.5 Pertinencia formativa en los ITTs

El PIA N.º 6 de RCD tiene el perfil de pertinencia más concentrado en una carrera específica de toda la secuencia: Construcción Civil es la carrera ancla por excelencia, dado que el proceso es parte central de su campo de desempeño profesional. Sin embargo, la transversalidad con otras carreras aporta valor diferencial significativo.

- Construcción Civil (carrera ancla): gestión de residuos de obra, dosificación de mezclas con árido reciclado, ensayos de resistencia y granulometría, normativa ambiental aplicable a la demolición y a la generación de RCD.
- Química Industrial (alta pertinencia): caracterización del árido reciclado: densidad real y aparente, absorción de agua, contenido de sulfatos y cloruros, resistencia al desgaste (ensayo Los Ángeles simplificado). Interpretación de curvas granulométricas.
- Mecánica Industrial (alta pertinencia): diseño y fabricación de la trituradora artesanal de mandíbula, de la criba de clasificación granulométrica y del vibrador de zaranda. Mantenimiento de equipos de alta desgaste.
- Electricidad Industrial (pertinencia media-alta): sistema de motorización del vibrador de zaranda y del motor de la trituradora; instalación de arrancadores directos y protecciones eléctricas para motores de alta carga.
- Diseño Gráfico (pertinencia media): etiquetado e identidad visual del árido reciclado producido; diseño de fichas técnicas del producto para entrega a clientes municipales o constructores.

13.6 Productos, valor agregado y vinculación con cadenas de valor

El árido reciclado producido en el ITT tiene tres destinos de valor creciente:

- Árido para sub-bases (menor valor, mayor volumen): árido grueso reciclado clasificado sin ensayos especiales de calidad, apto para compactación como sub-base granular de aceras, patios y caminos de bajo tráfico. Precio referencial: 30–80 Bs/m³ (fracción de los 200–400 Bs/m³ del árido natural de cantera).
- Árido para bloques y adoquines (valor medio): árido grueso reciclado con granulometría controlada (12,5–19 mm) y árido fino reciclado para sustitución parcial en bloques de hormigón y adoquines peatonales fabricados en el taller del ITT. El bloque o adoquín terminado es el producto de mayor valor pedagógico del proceso.
- Árido fino para morteros y tierra comprimida (valor específico): el AFR mezclado con cemento, cal y arcilla permite fabricar bloques de tierra comprimida (BTC) o morteros de nivelación para pisos, materiales de alta demanda en la construcción alternativa y de bajo costo en Bolivia.

Los actores de articulación con cadenas de valor locales incluyen:

- Municipios que requieren material de relleno y sub-base para obras de infraestructura comunitaria (aceras, canchas, caminos vecinales).
- Constructoras de vivienda social que buscan reducir el costo del árido comprando material reciclado certificado.
- Escuelas técnicas del entorno que pueden adquirir bloques y adoquines

reciclados para mejoras de su infraestructura.

- Proyectos de construcción alternativa y hábitat sostenible (bioconstrucción, ecoconstrucción).

13.7 Remisión al Anexo

La descripción anterior provee la visión general del proceso de tratamiento de

RCD, los tipos de residuos valorizables, las dos fracciones de árido producidas y su vinculación con las cadenas de valor locales. El tratamiento técnico-cuantitativo con objetivos de aprendizaje, balances de materia, curvas granulométricas, diseño de equipos artesanales de bajo costo y criterios de seguridad operacional, se desarrolla en el Anexo 5 de este documento.

14 WEBGRAFÍA



Con la finalidad de fortalecer el aprendizaje autónomo y complementar los contenidos e información desarrollados en cada Guía Técnica o Unidad Temática, se presenta la siguiente webgrafía. Los documentos y videos digitales seleccionados permitirán al personal docente ampliar sus conocimientos y reforzar la comprensión de los contenidos abordados.

Tratamiento y aprovechamiento de residuos orgánicos

<https://www.youtube.com/watch?v=9HuqN10w2n4>

Planta de Digestión Anaerobia de Fracción Orgánica de Residuos Municipales del Ecoparque de Toledo

<https://www.youtube.com/watch?v=ovmy-CMGhBo>

¿QUÉ son los RESIDUOS INDUSTRIALES y CÓMO se gestionan?

<https://www.youtube.com/watch?v=7EXGmdTWIUs>

PLANTA DE SELECCIÓN DE PAPEL Y CARTÓN

<https://www.youtube.com/watch?v=3QE1JQleyXM>

VIDRIO: ¿Cómo se produce y cómo se recicla?

<https://www.youtube.com/watch?v=gihYVyxS6ak>

Reciclaje de metal ¿cuáles y cómo se reciclan?

<https://www.youtube.com/watch?v=cpUYFoG2MxA>

¿Qué es la economía circular? / Ellen MacArthur

<https://www.youtube.com/watch?v=rPJyAR-Hz1A>

Píldora_Diagrama sistémico de la economía circular_Circularweekend

<https://www.youtube.com/watch?v=kGchTpeo28U>

De Residuos a Recursos: Valorización de Residuos en el sector manufacturero

<https://www.youtube.com/watch?v=9XZLir3Aov8>

La empresa que le da una segunda vida a los residuos de neumáticos

<https://www.youtube.com/watch?v=2d4vePNFAoA>

Así transformamos los desechos en combustible

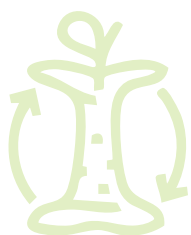
<https://www.youtube.com/watch?v=ruDMr61fWOW>

Planta de reciclaje de aceite de cocina usado para la obtención de biocarburantes

<https://www.youtube.com/watch?v=08tPvmtoSE4>



UNIDAD TEMÁTICA 4



PREVENCIÓN DE
RESIDUOS, PRODUCCIÓN
MÁS LIMPIA Y ANÁLISIS
DEL CICLO DE VIDA

1. INTRODUCCION

La presente unidad temática está dirigida a las carreras de formación técnica y tiene como propósito desarrollar los conceptos y principios relacionados con la prevención de residuos, la producción

más limpia y el análisis del ciclo de vida. Su aplicación permitirá identificar y prevenir los aspectos ambientales asociados a las diferentes actividades y procesos, con el fin de minimizar los impactos adversos sobre el medio ambiente y promover el uso eficiente de los recursos.

Tabla 34: Contenidos de las carreras priorizadas

Carrera	Semestre/año	Asignatura
Gastronomía	Primer año	Inocuidad alimentaria, seguridad ocupacional y medio ambiente
	Primer año	Técnicas culinarias e historia de la gastronomía
Industria Textil y Confecciones	Primer año	Seguridad industrial y medio ambiente
Construcción Civil	Primer año	Seguridad industrial y medio ambiente
	Primer año	Mecánica de suelos I
	Segundo semestre	Procesos constructivos I
Diseño Grafico	Tercer año	Sistema de impresión
Mecánica Industrial	Primer semestre	Seguridad ocupacional y medio ambiente
	Tercer semestre	Soldadura industrial II
Sistemas Informáticos	Primer año	Instrumentos y componentes
Química Industrial	Primer año	Higiene, seguridad industrial y medio ambiente
	Segundo semestre	Higiene, seguridad industrial y medio ambiente
Mecánica Automotriz	Primer año	Seguridad ocupacional y medio ambiente
	Primer año	Motores a gasolina I
Electromecánica	Primer semestre	Tecnología y taller mecanico I

2. CONCEPTO DE PREVENCIÓN Y MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS

El término de prevención de generación de residuos sólidos es sinónimo de reducción de residuos sólidos en origen.

Comprende las acciones encaminadas a evitar la generación de residuos o a reducir la peligrosidad de los residuos que se generan, mediante un cambio de actitud tanto en el consumidor como en el productor. A nivel del consumidor implica una modificación de los hábitos de consumo. A nivel del productor implica la modificación tanto de hábitos de producción como cambios en el proceso,

operaciones y tecnología para elaborar productos con diseños y tipos de materiales que minimicen la generación de residuos y su peligrosidad. La minimización se refiere a acciones destinadas a reducir la cantidad, volumen o peligrosidad de los residuos que inevitablemente se generan, mediante prácticas como la optimización de procesos, el uso de tecnologías limpias, la reutilización de materiales y la mejora en la gestión de recursos.

En el marco de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, la prevención y minimización ocupan los niveles más altos de la jerarquía de gestión, ya que son las medidas más efectivas para disminuir

los impactos ambientales, reducir costos de manejo y fomentar modelos de producción y consumo sostenibles.

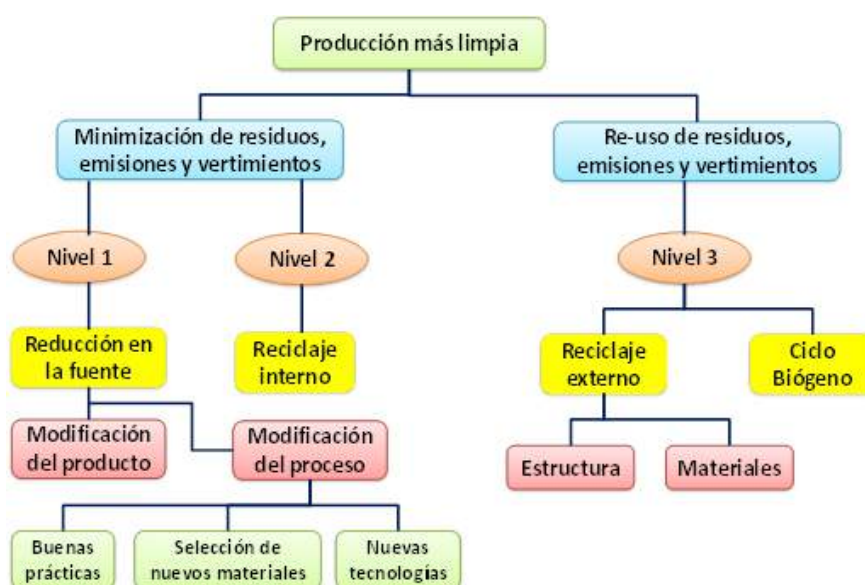
Características de la prevención y minimización

- Se aplican antes de la generación del residuo.
- Promueven el uso eficiente de materias primas y energía.
- Reducen los impactos ambientales y costos de tratamiento o disposición final.
- Contribuyen a modelos de producción más limpia y economía circular.

Ejemplos de prevención y minimización

- Diseño de productos con menos material o con materiales reciclables.
- Sustitución de materias primas peligrosas por alternativas menos contaminantes.
- Optimización de procesos productivos para reducir pérdidas de material.
- Uso de envases reutilizables o retornables.
- Reducción del consumo innecesario de productos.

Figura 31: Prevención de la contaminación y optimización de procesos



Fuente: <https://franklinvicente.wordpress.com/prevencion-de-la-contaminacion-y-optimizacion-de-procesos/>

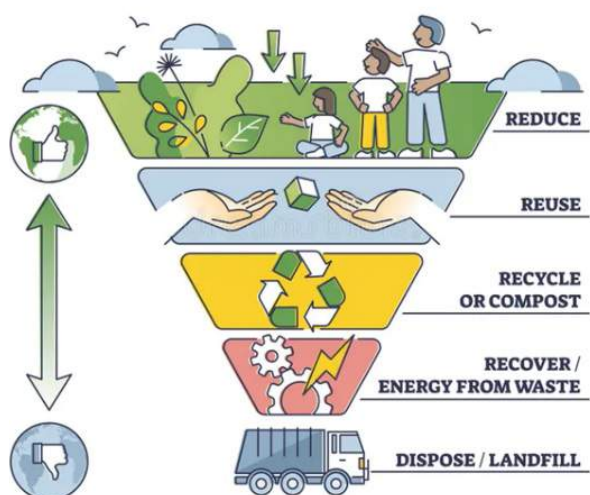
3. REDUCCIÓN EN LA FUENTE DE GENERACIÓN

La reducción en la fuente de generación es una estrategia de gestión ambiental que consiste en disminuir la cantidad y la peligrosidad de los residuos desde el origen donde se producen, antes de que entren al sistema de recolección, tratamiento o disposición final. Esta estrategia implica modificar los procesos de producción, el diseño de productos y

los patrones de consumo, con el fin de evitar o reducir la generación de residuos.

Dentro de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, la reducción en la fuente se considera una de las medidas más efectivas, ya que previene la generación de residuos desde el inicio del ciclo de vida de los productos, disminuyendo los impactos ambientales, los costos de manejo y la presión sobre los sistemas de tratamiento y disposición final.

Figura 32: Diagrama esquemático de reducción en origen y gestión de residuos



Fuente: <https://es.dreamstime.com/diagrama-de-esquema-reducci%C3%B3n-fuentes-y-gesti%C3%B3n-residuos-respetuosa-con-el-medio-ambiente-gradientes-contaminaci%C3%B3n-basura-image223-065023>

4 PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (PML)

La Producción Mas Limpia (PML) es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada a los procesos productivos, a los productos y a los servicios, con el objetivo de incrementar la eficiencia en el uso de los recursos, reducir la generación de residuos y emisiones, y minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente. La PML puede ser aplicada a los procesos empleados en cualquier industria, a los productos mismos y a los diferentes servicios prestados a la sociedad.

La PML en los procesos productivos conduce al ahorro de materia prima, agua y/o energía; a la eliminación de materias primas tóxicas y peligrosas; a la reducción en la fuente de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y desechos durante el proceso de producción.

En los productos, la PML busca reducir los impactos negativos de estos sobre el ambiente, la salud y la seguridad durante todo su ciclo de vida: desde la extracción de la materia prima, pasando por la transformación y uso, hasta disposición final del producto.

4.1 Bases y principios de PML

Todo proceso productivo comprende un conjunto de etapas u operaciones mediante las cuales las materias primas, los insumos y la energía se transforman en bienes o productos comercializables. Sin embargo, no todos los recursos utilizados se incorporan al producto final. Durante el proceso se generan pérdidas de materiales, consumo ineficiente de agua y energía, emisiones, efluentes y residuos que representan ineficiencias en el uso de los recursos.

Una parte de estos residuos es inherente a los procesos productivos; no obstante, una proporción significativa puede prevenirse, reducirse o aprovecharse mediante la aplicación de prácticas de Producción Más Limpia. Cuando estas oportunidades no son aprovechadas, los residuos no solo generan impactos ambientales, sino que también representan pérdidas económicas para la empresa al desaprovechar materias primas, agua, energía y otros insumos.

Los principios de la PML se basan en:

Figura 33: Principios de PML



Fuente: CPTS

Principio 1: Lo que no se transforma o incorpora en un producto comercializable constituye un residuo. Un residuo, a su vez, puede ser una fuente de contaminación y una pérdida económica para la empresa.

Principio 2: Lo que no se mide no se puede controlar, y lo que no se puede controlar no se puede mejorar.

Para poner en práctica los principios de la PML se consideran las siguientes bases:

- Buenas prácticas operativas
- Circuito cerrado del reciclaje
- Sustitución de insumos
- Modificación de procesos
- Reformulación de Producto

Para la implementación de las Etapas de la PML:

1. Diagnóstico ambiental

Identificación de consumos, residuos, emisiones y puntos críticos del proceso.

2. Identificación de oportunidades

Propuestas de mejora en procesos, insumos, tecnología o prácticas operativas.

3. Evaluación de alternativas

Análisis técnico, económico y ambiental de las opciones propuestas.

4. Implementación de medidas

Aplicación de las acciones de Producción Más Limpia.

5. Seguimiento y control

Monitoreo de resultados y verificación de mejoras.

6. Mejora continua

Ajustes y nuevas acciones para optimizar el desempeño ambiental.

4.2 Bases prácticas de la Producción Más Limpia

Para poner en práctica de la PML, se debe considerar las siguientes bases:

- **Buenas prácticas operativas:** Segregar los flujos de residuos a fin de facilitar su reciclaje, reuso, recuperación o, cuando no hay alternativas, su tratamiento final como desechos; mejorar las operaciones y el mantenimiento de los equipos; mejorar el orden y las operaciones de limpieza; mantener controles de inventarios, y de balances de masa y energía; prevenir derrames y fugas; y realizar otras prácticas de reducción de residuos y de uso eficiente de energía que no impliquen cambios significativos en los procesos o en las equipos.
- **Circuito cerrado de reciclaje:** Retorno de los residuos directamente al proceso de producción en calidad de insumo.
- **Sustitución de insumos:** Reemplazar materias primas, insumos o sustancias utilizadas en un proceso por otras que generen una menor cantidad de residuos o que presenten un menor nivel de peligrosidad.
- **Modificación de procesos:** Rediseñar los procesos; mejorar los controles de las operaciones; efectuar modificaciones en los equipos o cambios tecnológicos que permitan reducir la generación de residuos.
- **Reformulación del producto:** Sustituir un producto final por otro de características similares que requiera de insumos no peligrosos o de menor peligrosidad en los procesos de producción;

o cuyo uso y/o disposición final sea más benigno para el medio ambiente y/o para la salud.

- **Las tres R:** Reciclar, Reusar y/o Recuperar residuos con el objetivo de minimizar los desechos.

4.3 Beneficios de la PML

Algunos beneficios para las unidades productivas que practican la PML son los siguientes:

- **Mejor productividad y rentabilidad:** Los cambios en la producción conllevan un incremento en la rentabilidad, debido a un mejor aprovechamiento de los recursos y a una mayor eficiencia en los procesos, entre otros. En el ámbito económico:
 - Reduce costos a través del uso eficiente de materias primas, agua, energía u otros insumos.
 - Reduce costos a través de un mejor manejo de recursos/desechos.
 - Reduce costos de traslado y disposición de desechos.
 - Reduce o elimina la inversión en plantas de tratamiento o medidas “al final del proceso”.
 - Incrementa las ganancias debido a las mejoras en los procesos productivos y por el valor económico obtenido al reusar, reciclar y recuperar.
- **Mejor desempeño ambiental:** Un mejor uso de los recursos reduce la generación de desechos que pueden, en algunos casos, reciclarse, reutilizarse o recuperarse. Consiguientemente:
 - Reduce los costos y simplifica las técnicas requeridas para el tratamiento “al final proceso” y para

la disposición final de los desechos.

- Genera nuevos conocimientos al interior de la empresa.
- Facilita el proceso de adecuación ambiental previsto en la legislación ambiental.
- Ayuda a la evaluación de riesgos relacionados con los impactos ambientales.
- Contribuye al establecimiento de un sistema de gestión ambiental en el interior de la empresa.
- **Mejor posicionamiento comercial de la empresa:** La introducción de medidas de PML, además de las ventajas económicas y ambientales, permite a la empresa alcanzar otros beneficios colaterales, especialmente en el mercado, debido a que:
 - Diversifica sus líneas de productos.
 - Accede a nuevos mercados.
 - Incrementa las ventas.
 - Diversifica el uso de materiales residuales.
 - Mejora su imagen en el mercado.
- **Mejor entorno laboral:** En el ámbito social, la Producción Más Limpia contribuye a:
 - Mejorar las condiciones de seguridad y salud ocupacional.
 - Mejora las condiciones de infraestructura de la planta productiva.
 - Genera efectos positivos en el personal.
 - Mejora las relaciones con la comunidad y la autoridad.

5. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV)

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una metodología que permite evaluar los

impactos ambientales de un producto, proceso o servicio a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Su finalidad es identificar oportunidades de mejora ambiental y apoyar la toma de decisiones orientadas al uso eficiente de los recursos y a la prevención de la contaminación.

El Ciclo de Vida del Producto (CVP) se refiere al conjunto de etapas sucesivas que atraviesa un producto desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final, incluyendo los procesos de transformación, distribución, uso y gestión al final de su vida útil. Este enfoque permite identificar y evaluar los impactos ambientales, económicos y sociales asociados a cada fase, constituyéndose en una herramienta clave para la gestión ambiental, la economía circular y la producción más limpia.

Figura 34: Principales etapas del Ciclo de Vida del Producto



Fuente: <https://3dalia.com/ciclo-de-vida-de-un-producto-analisis-etapas-y-ejemplos/>

Principios del Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

1. Enfoque de Ciclo de Vida. Considera todas las etapas del producto, sin limitarse a una sola fase.
2. Enfoque integral. Analiza consumos de recursos, emisiones, residuos y efluentes.
3. Base científica y sistemática. Se apoya en métodos estandarizados (ISO 14040 y 14044).
4. Transparencia. Los supuestos, datos y límites del estudio deben ser claros.
5. Comparabilidad. Permite comparar alternativas de productos o procesos.

Beneficios del ACV

- Identifica los mayores impactos ambientales de un producto o proceso.
- Apoya la Producción Más Limpia y el ecodiseño.
- Mejora la eficiencia en el uso de recursos.
- Facilita la toma de decisiones técnicas y ambientales.
- Contribuye al cumplimiento de normativa ambiental.
- Promueve la economía circular y la sostenibilidad.

Aspectos relacionados a la generación de residuos sólidos en ACV

De acuerdo a la formación técnica, los residuos generados más frecuentes están relacionados con:

- Generación de residuos no peligrosos (reciclables).
- Residuos peligrosos.
- Aceites usados lubricantes y comestibles.
- Residuos orgánicos.

- Residuos especiales (escombros, residuos electrónicos, chatarra, etc.).
- Emisiones de ruido y polvo.

6 ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE UN PRODUCTO

Las etapas del ciclo de vida describen todas las fases por las que atraviesa un producto desde la extracción de materias primas hasta su disposición final, considerando los procesos que intervienen en su producción, uso y gestión posterior. Este enfoque es fundamental dentro del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), una herramienta utilizada para evaluar los impactos ambientales asociados a cada etapa del ciclo de un producto.

Principales etapas del Ciclo de Vida

1. Extracción y obtención de materias primas

Es la fase inicial del ciclo de vida en la que se extraen los recursos naturales necesarios para fabricar un producto. Incluye actividades como la minería, la explotación forestal, la extracción de petróleo o la obtención de recursos agrícolas.

2. Procesamiento y transformación de materias primas

En esta etapa las materias primas se procesan y transforman en materiales o componentes que pueden ser utilizados en la fabricación de productos. Por ejemplo, la transformación del petróleo en plásticos o del mineral de hierro en acero.

3. Fabricación o producción

Consiste en el ensamblaje y elaboración del producto final mediante procesos industriales o artesanales. En esta fase se utilizan energía, agua y otros insumos, generándose también residuos y emisiones.

4. Distribución y transporte

Incluye el almacenamiento, transporte y comercialización del producto desde el lugar de producción hasta los puntos de venta o consumo. Esta etapa también genera impactos ambientales asociados al uso de combustibles y emisiones.

5. Uso o consumo del producto

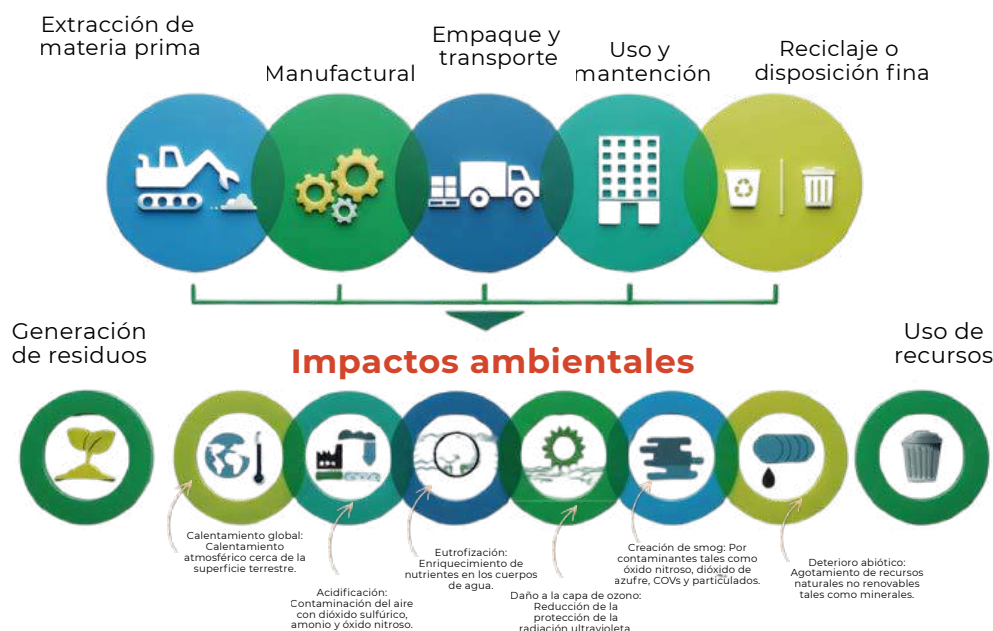
Corresponde al período en el que el producto es utilizado por los consumidores o usuarios. Dependiendo del tipo de producto, esta etapa puede implicar consumo de energía, mantenimiento o generación de residuos.

6. Fin de vida del producto

Es la fase final del ciclo de vida, cuando el producto **deja de cumplir su función y se convierte en residuo**. En esta etapa pueden aplicarse diferentes opciones de gestión como:

- Reutilización
- Reparación o remanufactura
- Reciclaje
- Valorización energética
- Disposición final en rellenos sanitarios

Figura 35: Etapas de Ciclo de Vida del Producto



Fuente: Etapas del Ciclo de Vida de Producto. Fuente: Estévez, R. (12 de mayo de 2016). EcoinTELigencia.com. Recuperado el 19 de febrero de 2017, de El Análisis del Ciclo de Vida y su marco normativo: <http://www.ecointeligencia.com/2016/05/acv-marco-normativo/>

Importancia del enfoque de Ciclo de Vida

El análisis de las etapas del Ciclo de Vida permite:

- Identificar puntos críticos de impacto ambiental.
- Mejorar el diseño sostenible de productos.
- Reducir la generación de residuos y consumo de recursos.
- Promover estrategias de economía circular.

encuentran la generación de residuos, las emisiones de gases, los vertidos de aguas residuales, el consumo de energía y agua, y el uso de materias primas y recursos naturales.

Impactos ambientales

Cambio en el medio ambiente, adverso o beneficioso, como resultado de los aspectos ambientales. Entre los impactos más comunes se encuentran la contaminación del agua, el aire y el suelo.

7 APLICACIÓN DEL ACV EN LA REDUCCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Aspectos ambientales

Elementos de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente. Entre los principales aspectos ambientales se

7.1 Importancia de la identificación de los aspectos ambientales

En el marco de cumplimiento del control ambiental, la identificación de los aspectos ambientales permite:

- Prevenir la contaminación.
- Facilitar el cumplimiento legal ambiental.

- Reducir los riesgos ambientales y a la salud.
- Mejorar la eficiencia en el uso de recursos.
- Es la base para la Gestión Integral de Residuos sólidos.

De acuerdo con el proceso de identificación, los aspectos ambientales pueden clasificarse según los siguientes criterios:

- **Según las condiciones de operación:** Se identifican de acuerdo con las condiciones en las que se desarrollan las actividades, distinguiéndose entre condiciones normales de operación, condiciones anormales (arranques, paradas o mantenimiento) y situaciones de emergencia.
- **Según su tipo:** Se clasifican en función de la interacción que generan con

el medio ambiente, tales como el consumo de recursos naturales (agua, energía y combustibles), las emisiones a la atmósfera (gases, ruido y vibraciones), los vertidos de aguas residuales, la generación de residuos peligrosos y no peligrosos, y la ocupación o uso del suelo.

7.2 Metodología para la identificación de aspectos ambientales

La identificación de aspectos ambientales requiere conocer los procesos industriales, de servicios y comerciales, así como las actividades que los componen. Este análisis permite determinar los aspectos ambientales asociados a cada proceso o actividad.

Tabla 37: Criterios de identificación de aspectos

Paso 1: Identificación de actividades	Paso 2: identificación de entradas y salidas	Paso 3: determinación del impacto	Paso 4: Evaluación de significancia
Procesos productivos o servicios	Entradas: materias primas, agua, energía Insumos químicos Salidas: Productos, residuos, emisiones y efluentes	Aire Agua Suelos Salud humana Biodiversidad	Magnitud del impacto Frecuencia Probabilidad Severidad Requisitos legales Percepción social
Transporte			
Almacenamiento			
Mantenimiento			

Fuente: Programa CIERVA

7.3 Herramientas para la identificación de los aspectos ambientales

La identificación de los aspectos ambientales requiere el uso de herramientas que permitan analizar de forma sistemática las actividades, procesos y servicios, facilitando la identificación de las interacciones con el medio ambiente y

la evaluación de los impactos ambientales asociados. Entre las herramientas más utilizadas se encuentran:

- Lista de verificación (*Check List*)
- Descripción del diagrama de flujo
- Matriz de aspectos e impactos
- Análisis de ciclo de vida

8 WEBGRAFÍA



Con la finalidad de fortalecer el aprendizaje autónomo y complementar los contenidos e información desarrollados en cada Guía Técnica o Unidad Temática, se presenta la siguiente webgrafía. Los documentos y videos digitales seleccionados permitirán al personal docente ampliar sus conocimientos y reforzar la comprensión de los contenidos abordados.

Prevención en la generación de residuos

<https://www.youtube.com/watch?v=8lwPqEBG-pE>

Generación y gestión de residuos - Sostenibilidad

<https://www.youtube.com/watch?v=BLkOZTMRCV0>

Producción Mas Limpia

<https://www.youtube.com/watch?v=xubZgREYqMA>

Análisis de ciclo de vida

<https://www.youtube.com/watch?v=5vI3zcaDIZ0>

¿Cómo se mide el IMPACTO AMBIENTAL de un producto?

<https://www.youtube.com/watch?v=EEMvfSglxds>

Directrices para un plan de gestión de residuos de la construcción (RCD)

<https://www.youtube.com/watch?v=u0aB-6MtWwQ>

IEAA: Identificación y evaluación de aspectos ambientales

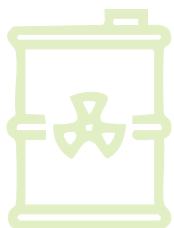
https://www.youtube.com/watch?v=_2WVMfr4lkl

Aspectos Ambientales vs Impactos ambientales significativos en ISO 14001:2015

<https://www.youtube.com/watch?v=K45gxte2Hc4>



UNIDAD TEMÁTICA 5



MANEJO DE RESIDUOS
PELIGROSOS
Y SEGURIDAD
OCUPACIONAL

1 INTRODUCCIÓN

La presente unidad temática se incorpora en las asignaturas de las carreras técnicas priorizadas, de acuerdo con su perfil de formación y las competencias previstas en cada plan de estudios. La siguiente tabla presenta las asignaturas en las que se desarrollarán los contenidos correspondientes.

Tabla 38: Contenidos de las carreras priorizadas

Carrera	Semes- tre/año	Asignatura
Gastronomía	Primer año	Inocuidad alimentaria, seguridad ocupacional y medio ambiente
Industria Textil y Confecciones	Segundo año	Tinturas de fibras celulósicas, proteínicas y manufacturadas
	Primer año	Mantenimiento de máquinas
Construcción Civil	Tercer año	Obras viales
Diseño Gráfico	Tercer año	Sistema de impresión
Mecánica Industrial	Primer semestre	Seguridad ocupacional y medio ambiente
Electromecánica	Cuarto semestre	Instalaciones eléctricas domiciliarias y domóticas

2 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

Los residuos peligrosos son aquellos desechos que, debido a sus características físicas, químicas o biológicas, representan un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente si no son manejados adecuadamente. Estos residuos pueden generar efectos adversos como contaminación del suelo, agua o aire, así como daños a los ecosistemas y a las personas.

Según la normativa ambiental, los residuos peligrosos se identifican por presentar

una o más características de peligrosidad, tales como toxicidad, inflamabilidad, corrosividad, reactividad o infecciosidad. En Bolivia, su gestión está regulada principalmente por la Ley N.º 1333 de Medio Ambiente y su reglamentación a través del Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero (RASIM), que establecen criterios para su identificación, manejo, transporte y disposición final.

2.1 Clasificación de los residuos peligrosos

Los residuos peligrosos pueden clasificarse de acuerdo con sus características de peligrosidad, entre las principales se encuentran:

- **Residuos corrosivos**

Son aquellos que pueden destruir o dañar materiales y tejidos vivos debido a su alto o bajo pH.

Ejemplos: ácidos fuertes, bases concentradas, soluciones químicas corrosivas.

- **Residuos reactivos**

Son residuos inestables que pueden reaccionar violentamente con agua, aire u otras sustancias, liberando gases tóxicos o provocando explosiones. Ejemplos: peróxidos, compuestos inestables o ciertos reactivos químicos.

- **Residuos inflamables**

Son aquellos que pueden encenderse fácilmente en presencia de una fuente de calor o chispa.

Ejemplos: solventes, aceites usados, combustibles, pinturas.

- **Residuos tóxicos**

Son residuos que contienen sustancias capaces de provocar efectos nocivos o mortales en organismos vivos, incluso en pequeñas cantidades.

- **Residuos infecciosos o biológico-infecciosos**

Contienen microorganismos patógenos capaces de causar enfermedades en humanos o animales.

Ejemplos: residuos hospitalarios, material contaminado con sangre o fluidos biológicos.

- **Importancia de la correcta clasificación**

La clasificación adecuada de los residuos peligrosos permite:

- Aplicar medidas de manejo y tratamiento apropiadas.

- Reducir los riesgos para la salud pública y el ambiente.
- Cumplir con la normativa ambiental vigente.
- Facilitar su almacenamiento, transporte y disposición final segura.

3. CARACTERÍSTICAS DE PELIGROSIDAD (TOXICIDAD, INFLAMABILIDAD, CORROSIVIDAD, REACTIVIDAD)

En relación con las características de peligrosidad, se elaboró una propuesta armonizada a partir del análisis comparativo de tres marcos regulatorios internacionales. Para ello, se examinaron las definiciones y los criterios de identificación de cada normativa, identificando sus similitudes y diferencias, con el fin de consolidar una caracterización que integre los elementos técnicos más relevantes de cada sistema.

A continuación, se presentan las principales características de peligrosidad de los residuos peligrosos y la propuesta armonizada para su caracterización.

Tabla 39: Características de los residuos peligrosos

1. Reactivos	2. Explosivo	3. Inflamable
40 CRF 261.23 Un residuo es reactivo si presenta una de las siguientes propiedades: 1. Inestabilidad y facilidad para sufrir cambios violentos. 2. Reacciones violentas cuando se mezcla con agua. 3. Formación de mezclas potencialmente explosivas cuando se mezcla con agua. 4. Generaciones de vapores tóxicos cuando se mezcla con agua. 5. Material que contiene cianuro o sulfuro que generan vapores tóxicos cuando se expone a condiciones ácidas. 6. Facilidad de dotación o descomposición explosiva o reacción a temperaturas y presiones estándares. 7. Facilidad de detonación o descomposición explosiva cuando se expone a presión o calor. 8. Definido como explosivo prohibido o explosivo de la clase A o B La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) considera los residuos explosivos como un subgrupo de los residuos reactivos.	40 CRF 261.23 Un residuo es explosivo si presenta una de las siguientes propiedades: a) Formar mezclas potencialmente explosivas con el agua. b) Ser capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25 °C y 1 atm. c) Ser una sustancia fabricada con el objetivo de producir una explosión o efecto pirotécnico.	3.1. Comburente UE 2008/98/CE Se aplica a sustancias y preparados que presentan reacciones altamente exotérmicas al entrar en contacto con otras sustancias, en particular inflamables. Aunque una sustancia sea catalogada como comburente no significa que no pueda tener otras características de peligrosidad.

3. Inflamable	3. Inflamable	3. Inflamable
3.2. Líquidos inflamables UE 2008/98/CE 3.2.1. Fácilmente inflamable Se aplica a sustancias y preparados líquidos que tengan un punto de inflamación inferior a 21°C, a sustancias y preparados que puedan calentarse y finalmente inflamarse en contacto con el aire a temperatura ambiente sin aplicación de energía, a sustancias y preparados sólidos que puedan inflamarse fácilmente tras un breve contacto con una fuente de ignición y que continúen ardiendo o consumiéndose después del alejamiento de la fuente de ignición, o a sustancias y preparados que, en contacto con el agua o con aire húmedo, emitan gases fácilmente inflamables en cantidades peligrosas. 3.2.2. Inflamable Se aplica a sustancias o preparados líquidos que tengan un punto de inflamación superior o igual a 21 °C e inferior o igual a 55°C.	3.3. Sólidos y otros no líquidos inflamables 40 CRF 261.21 Se aplica a sustancias no líquidas capaces de producir fuego por fricción, absorción de humedad o alteraciones químicas espontáneas, bajo condiciones de temperatura y presión de 25 °C y 1 atm. Al inflamarse, queman de forma vigorosa y persistente, lo que dificulta la extinción del fuego.	3.4. Sustancias que emiten gases inflamables Basilea Anexo III 1992 Se aplica a sustancias o desechos que, por reacción al contacto con el agua, son susceptibles de inflamarse espontáneamente o de emitir gases inflamables en cantidades peligrosas.

Propuesta armonizada para caracterización de peligrosidad		
Características de peligrosidad residuos peligrosos		
3. Inflamable	3. Inflamable	3. Tóxico
3.5. Oxidante 40 CRF 261.21 Sustancia que puede liberar oxígeno fácilmente y, como resultado, estimular la combustión de materia orgánica o aumentar la intensidad del fuego en otros materiales.	3.6. Peróxidos orgánicos Basilea Anexo III 1992 Sustancias o desechos orgánicos que contienen la estructura bivalente -O-O-. Son sustancias térmicamente inestables que pueden sufrir una descomposición auto acelerada exotérmica.	4.1. Nocivo UE 2008/98/CE Se aplica a sustancias y preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden entrañar riesgos de gravedad limitada para la salud.
4. Tóxica	4. Tóxica	4. Tóxica
4.2. Tóxica UE 2008/98/CE Se aplica a sustancias y preparados (incluidos los preparados y sustancias muy tóxicas) que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden entrañar riesgos graves, agudos o crónicos, e incluso la muerte.	4.3. Cancerígeno UE 2008/98/CE Se aplica a sustancias o preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea puedan producir cáncer o aumentar su frecuencia.	4.4. Teratogénico UE 91/689/CEE Tóxico para la reproducción. Se aplica a sustancias y preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden producir malformaciones congénitas no hereditarias o aumentar su frecuencia.
4. Tóxico	4. Tóxico	4. Tóxico
4.5. Ecotóxico Basilea Anexo III 1992 Sustancia o desecho que, si se libera, tiene o puede tener efectos adversos inmediatos o retardados en el medio ambiente debido a la bioacumulación o los efectos tóxicos en los sistemas bióticos.	4.6. Mutagénicos UE 2008/98/CE Se aplica a sustancias o preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea puedan producir efectos genéticos hereditarios o aumentar su frecuencia.	4.7. Lixiviación Basilea Anexo III 1992 Sustancias que pueden, por algún medio después de su eliminación, dar origen a otra sustancia; por ejemplo, un producto de lixiviación que posea alguna de las características arriba expuestas.
Tóxica	Sustancias Infecciosas	Corrosivas
4.8. Liberación de gases Tóxicos en contacto con el aire o el agua UE 2008/98/CE Sustancias o preparados que emitan gases tóxicos o muy tóxicos al entrar en contacto con el aire, el agua o algún ácido.	UE 2008/CE Se aplica a sustancias que contienen microorganismos viables o sus toxinas, de los que se sabe o existen razones fundadas para creer que causan enfermedades en el ser humano o en otros organismos vivos	Basile Anexo III 1992 Sustancias o desechos que, por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos con los que entran en contacto; o que, en caso de fuga, pueden dañar gravemente o incluso destruir otras mercancías o los medios de transporte, o bien provocar otros peligros.
7. Irritante		
UE 2008/98/CE Se aplica a sustancias y preparados no corrosivos que pueden causar reacción inflamatoria por contacto inmediato, prolongando o repetido con la piel o las mucosas.		

Fuente: Orjuela Yepes (2013).

4. NORMATIVA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS

El manejo de residuos peligrosos está regulado por un conjunto de normas y regulaciones que establecen los procedimientos para su identificación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final, con el objetivo de prevenir riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

En Bolivia, la gestión de estos residuos se rige principalmente por la Ley N.º 1333 de Medio Ambiente, que establece el marco general para la protección ambiental y el control de actividades que puedan generar contaminación. Esta ley define las bases para la gestión de sustancias peligrosas y residuos que representen riesgos para el ambiente.

Complementariamente, la Ley N.º 755 de Gestión Integral de Residuos establece principios, lineamientos y responsabilidades para la gestión integral de residuos sólidos, incluyendo aquellos que presentan características peligrosas. Esta normativa promueve prácticas como la prevención, reducción, reutilización, reciclaje y disposición final segura.

Dentro de la reglamentación específica, el Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero (RASIM) regula la gestión de residuos peligrosos generados en actividades industriales. Este reglamento establece procedimientos para:

- La identificación y clasificación de residuos peligrosos.
- El almacenamiento seguro dentro de las instalaciones industriales.

- El transporte y manejo adecuado de sustancias peligrosas.
- La implementación de planes de manejo ambiental.
- El tratamiento y disposición final autorizada.

A nivel internacional, la gestión de residuos peligrosos también está influenciada por convenios que buscan controlar su manejo y transporte entre países. Uno de los más importantes es el Convenio de Basilea, cuyo objetivo es reducir la generación de residuos peligrosos y garantizar que su manejo se realice de manera ambientalmente adecuada.

Importancia de la normativa

La existencia de normativas para el manejo de residuos peligrosos permite:

- Proteger la salud pública y el medio ambiente.
- Establecer responsabilidades para generadores, transportistas y operadores.
- Controlar los riesgos asociados a sustancias peligrosas.
- Promover una gestión ambientalmente segura y sostenible.

Objetivos del Convenio de Basilea

El Convenio de Basilea es un tratado internacional adoptado en 1989 y que entró en vigor en 1992, cuyo objetivo principal es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los efectos adversos de los residuos peligrosos, especialmente aquellos que se transportan entre países.

Este convenio surgió como respuesta al creciente problema del traslado de residuos peligrosos desde países industrializados hacia países en desarrollo, donde muchas veces no existían las condiciones adecuadas para su tratamiento o disposición final.

El convenio establece varios objetivos fundamentales:

- Reducir al mínimo la generación de residuos peligrosos.
- Promover el manejo ambientalmente adecuado de los residuos.
- Regular y controlar los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos.
- Evitar el tráfico ilegal de desechos peligrosos entre países.
- Garantizar que los residuos se eliminen lo más cerca posible del lugar donde se generan.

Principios del convenio

Entre los principios más importantes se encuentran:

- 1. Principio de minimización de residuos:** Los países deben reducir al mínimo la generación de residuos peligrosos.
- 2. Principio de manejo ambientalmente adecuado:** Los residuos deben gestionarse de forma que se reduzcan los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.
- 3. Consentimiento previo informado (PIC):** Ningún país puede exportar residuos peligrosos sin el consentimiento previo del país receptor.

- 4. Responsabilidad del generador:** Los países que generan residuos deben garantizar su gestión adecuada.

Importancia para la gestión de residuos

El convenio ha contribuido a:

- Establecer normas internacionales para el manejo de residuos peligrosos.
- Reducir el comercio ilegal de desechos peligrosos.
- Promover la cooperación internacional en gestión ambiental.
- Fortalecer la legislación nacional de muchos países en materia de residuos.

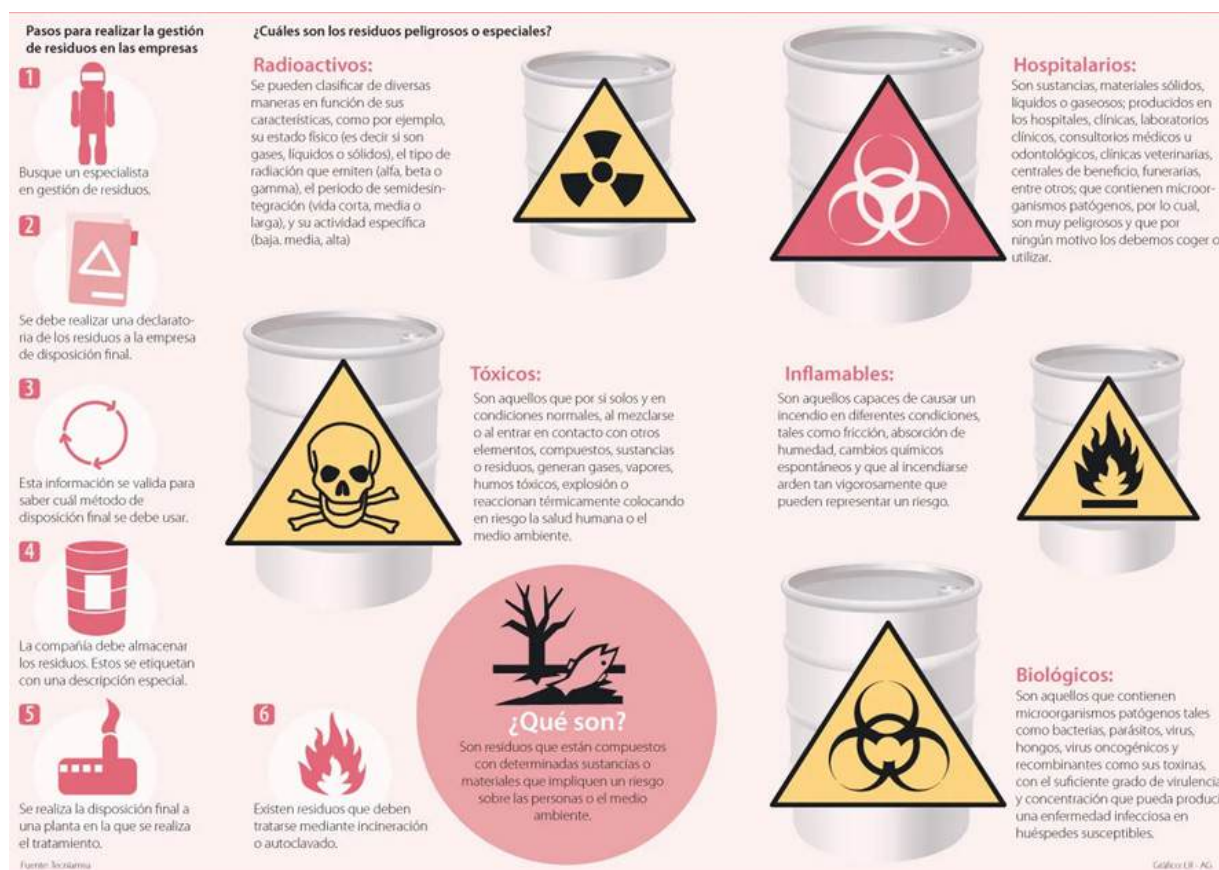
Bolivia es parte del Convenio de Basilea, por lo que debe aplicar sus principios dentro de su normativa ambiental, complementando leyes nacionales como la Ley N.º 1333 de Medio Ambiente y la Ley N.º 755 de Gestión Integral de Residuos.

5 ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Riesgos asociados a residuos peligrosos (salud y ambiente)

Los residuos peligrosos, al ser manipulados sin la capacitación adecuada, puede causar un riesgo a la salud y un impacto negativo al medio ambiente. Su manejo debe seguir protocolos establecidos para evitar posibles problemas.

Figura 36: Esquema del manejo adecuado de Residuos Peligrosos



Fuente: <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/descuido-con-residuos-toxicos-deja-en-riesgo-la-salud-publica-2030546>

5.1 Rotulación y almacenamiento de residuos peligrosos

El almacenamiento temporal debe cumplir con las condiciones adecuadas, evitando la contaminación y los riesgos a la salud. La señalización es una aplicación que permite la separación cumpliendo los protocolos de una responsable disposición de residuos.

6 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP) Y PROTOCOLOS DE SEGURIDAD

6.1 Uso correcto de EPP y medidas de bioseguridad (específico para materiales peligrosos)

El uso de Equipos de Protección Personal (EPP) constituye la última barrera de protección frente a riesgos químicos,

biológicos y físicos asociados a materiales peligrosos. Su uso no reemplaza los controles técnicos, pero reduce significativamente la exposición.

a) Objetivos del uso del EPP

- Proteger la salud del trabajador.
- Prevenir lesiones, intoxicaciones e infecciones.
- Reducir la exposición directa a materiales peligrosos.
- Cumplir con normas de seguridad y bioseguridad.

Las competencias para la gestión de procesos ante situaciones de emergencia deben estar claramente definidas, asegurando que los estudiantes las adquieran para responder adecuadamente ante estas contingencias:

- Saber: Identificar riesgos y normativa ambiental
- Hacer: Aplicar protocolos de respuesta y manejo seguro
- Ser: Actuar con responsabilidad, ética ambiental y prevención

Selección del EPP según el tipo de material peligroso

a) Materiales químicos peligrosos

- Guantes resistentes a químicos (nitrilo, neopreno, PVC).
- Gafas de seguridad o careta facial.
- Respiradores con filtros adecuados.
- Ropa de protección química o delantal impermeable.
- Calzado de seguridad resistente a derrames.

b) Materiales biológicos peligrosos

- Guantes desechables.
- Mascarilla o respirador según nivel de riesgo.

- Gafas o protector facial.
- Bata, overol o ropa de protección.
- Calzado cerrado y antideslizante

c) Materiales punzocortantes contaminados

- Guantes resistentes a perforaciones.
- Contenedores rígidos para descarte.
- Prohibido reencapuchar o manipular manualmente.
- Planes básicos de contingencia y respuesta ante emergencias

Ante derrames de residuos peligrosos en suelos y/o aguas, se tiene que tomar las medidas para mitigar el impacto ambiental y el riesgo a la salud. En ese marco, el plan de contingencias es un procedimiento que debe ser implementado para evitar los posibles problemas. Su estructura se detalla a continuación:

- Se deben identificar los residuos peligrosos según su peligrosidad:

Tabla 40: Factores de exposición de residuos de peligrosos

Tipo de residuo	Riesgo principal	Escenarios de emergencia
Inflamables	Incendios, explosiones	Derrame de sustancias peligrosas
Corrosivos	Quemaduras químicas	Fugas de gases tóxicos
Tóxicos	Intoxicación aguda o crónica	Incendios en áreas de almacenamiento
Reactivos	Reacciones violentas	Reacción química no controlada
Biológicos	Infecciones	Exposición accidental del personal
Radiactivos (si aplica)	Exposición radiológica	Rotura de envases durante transporte interno

Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificados los problemas, el plan debe proceder con la respuesta ante emergencias de acuerdo con la magnitud

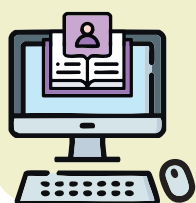
del riesgo latente, siguiendo estos pasos para la mitigación:

Tabla 41: Procesos para la respuesta ante emergencias

Paso 1: Derrames de residuos peligrosos	Paso 2: Incendios	Paso 3: Exposición a personas	Paso 4: Equipos y materiales de emergencia
Aislar el área y señalizar	Activar la alarma	Retirar a la persona del área contaminada	Kit de control de derrames
Utilizar EPP adecuado (guantes, mascarilla, gafas, overol)	Utilizar el extintor adecuado (ABC, CO ₂ , espuma)	Lavar con abundante agua (según FDS)	Extintores
Contener el derrame con material absorbente	Cortar fuentes de energía	No inducir vómito	Duchas y lavaojos
Recoger el residuo en recipientes etiquetados	Evacuar si el fuego no es controlable	Traslado inmediato a un centro de salud	Contenedores de emergencia
Limpiar y desinfectar el área	Avisar a bomberos	Registrar el incidente	Señalización de seguridad
Disponer el residuo conforme a la normativa	Incendios	Exposición a personas	Fichas de datos de seguridad accesibles

Fuente: Elaboración propia.

7 WEBGRAFÍA



Con la finalidad de fortalecer el aprendizaje autónomo y complementar los contenidos e información desarrollados en cada Guía Técnica o Unidad Temática, se presenta la siguiente webgrafía. Los documentos y videos digitales seleccionados permitirán al personal docente ampliar sus conocimientos y reforzar la comprensión de los contenidos abordados.

Residuos Peligrosos y su Clasificación

<https://www.youtube.com/watch?v=Yhls1N9OLZc>

Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos

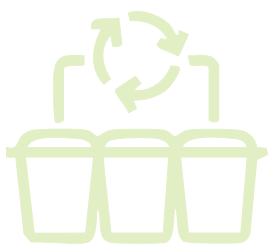
<https://www.youtube.com/watch?v=mbHiDmFHDkA>

Convenio de Basilea: Rebeca Berenice Avilés Mendoza 2AG (2022).

<https://www.youtube.com/watch?v=R2EyvANGWFO>



UNIDAD TEMÁTICA 6



GESTIÓN INTEGRAL
DE RESIDUOS
Y DESARROLLO
SOSTENIBLE

1 RELACIÓN ENTRE GESTIÓN DE RESIDUOS Y DESARROLLO SOSTENIBLE

El desarrollo sostenible -definido por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en el informe *Nuestro Futuro Común* (1987)- plantea satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las capacidades de las futuras generaciones. En este contexto, la gestión de residuos se convierte en un elemento clave para minimizar los impactos ambientales derivados de la producción y el consumo.

La gestión integral de residuos comprende actividades como la reducción en la fuente, la separación, la reutilización, el reciclaje, el tratamiento y la disposición final adecuada. Estas acciones buscan disminuir la cantidad de residuos enviados a vertederos y reducir la contaminación del aire, el agua y el suelo. La adecuada gestión de residuos contribuye a los objetivos del desarrollo sostenible.

Figura 34: Objetivos del Desarrollo Sostenible



Fuente: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

1.1 Contribución Ambiental

Una adecuada gestión de residuos contribuye a la sostenibilidad ambiental mediante:

- Reducción de la contaminación del suelo, agua y aire.
- Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente metano, generado en rellenos sanitarios.
- Aprovechamiento de recursos naturales mediante reciclaje y reutilización.
- Protección de ecosistemas y biodiversidad.

Estas acciones están alineadas con los objetivos establecidos por la Organización de las Naciones Unidas a través de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible; particularmente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 sobre producción y consumo responsables.

1.2 Contribución social

La gestión sostenible de residuos también tiene impactos sociales positivos:

- Generación de empleo verde, especialmente en reciclaje y valorización de residuos.
- Inclusión social de recicladores y trabajadores del sector informal.
- Mejora de la salud pública, al reducir la exposición a residuos peligrosos y contaminantes.

En muchos países de América Latina, los sistemas de reciclaje dependen en gran medida del trabajo de recicladores, por lo que su formalización y reconocimiento forman parte de políticas de sostenibilidad e inclusión social.

1.3 Contribución económica

Desde el punto de vista económico, la gestión sostenible de residuos:

- Promueve la economía circular, donde los residuos se reintegran al sistema productivo.
- Reduce costos asociados a la extracción de materias primas.
- Genera nuevos mercados y cadenas de valor del reciclaje.
- Fomenta la innovación en tecnologías de tratamiento y recuperación de materiales.

Figura 35: Gestión de Residuos y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)



Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2015); Organización de las Naciones Unidas (2015); Geissdoerfer et al. (2017).

2 REDUCCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES MEDIANTE UNA GESTIÓN ADECUADA

La gestión adecuada de los residuos es una estrategia fundamental para disminuir los impactos ambientales generados por las actividades humanas. Cuando los residuos no son manejados correctamente pueden provocar contaminación del suelo, agua y aire, afectar la salud pública y deteriorar los ecosistemas. Por ello, la implementación de sistemas de gestión integral de residuos permite prevenir, minimizar y controlar dichos impactos ambientales (Tchobanoglous, Theisen & Vigil, 1994).

Una adecuada gestión de residuos incluye diferentes etapas como reducción en la fuente, reutilización, reciclaje, tratamiento y disposición final segura. Estas acciones permiten disminuir la cantidad

de residuos que llegan a los vertederos o rellenos sanitarios, reduciendo así la generación de lixiviados y emisiones de gases contaminantes. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la gestión sostenible de residuos contribuye significativamente a la reducción de la contaminación y al uso eficiente de los recursos naturales (UNEP, 2015).

Uno de los principales beneficios ambientales de la gestión adecuada de residuos es la reducción de la contaminación del suelo y de los cuerpos de agua. La disposición inadecuada de residuos puede generar lixiviados que contienen sustancias tóxicas capaces de infiltrarse en el suelo y contaminar aguas subterráneas. Mediante prácticas como el tratamiento de residuos y el uso de rellenos sanitarios controlados se pueden prevenir estos impactos ambientales.

Asimismo, la gestión eficiente de residuos contribuye a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, particularmente metano, que se genera durante la descomposición de residuos orgánicos en condiciones anaerobias en vertederos. La implementación de estrategias como el compostaje, la biodigestión y el reciclaje reduce la cantidad de residuos orgánicos dispuestos en rellenos sanitarios, mitigando así su contribución al cambio climático.

Otro aspecto importante es el aprovechamiento de materiales reciclables, como papel, plástico, vidrio y metales. El reciclaje permite reincorporar estos materiales al ciclo productivo, disminuyendo la extracción de materias primas y reduciendo el consumo de energía en los procesos industriales. Este enfoque se vincula con los principios de la economía circular, promovidos por

organizaciones como la Fundación Ellen MacArthur, que buscan mantener los recursos en uso durante el mayor tiempo posible.

Finalmente, la gestión adecuada de residuos contribuye a la protección de los ecosistemas y la biodiversidad, ya que evita la acumulación de residuos en ambientes naturales, reduce la contaminación y mejora la calidad ambiental de las ciudades. Estas acciones se encuentran alineadas con los objetivos establecidos por la Organización de las Naciones Unidas en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, especialmente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12, que promueve patrones sostenibles de producción y consumo.

En síntesis, la gestión adecuada de los residuos constituye una herramienta clave para reducir los impactos ambientales, conservar los recursos naturales y promover un desarrollo sostenible, contribuyendo al equilibrio entre las actividades humanas y la protección del medio ambiente.

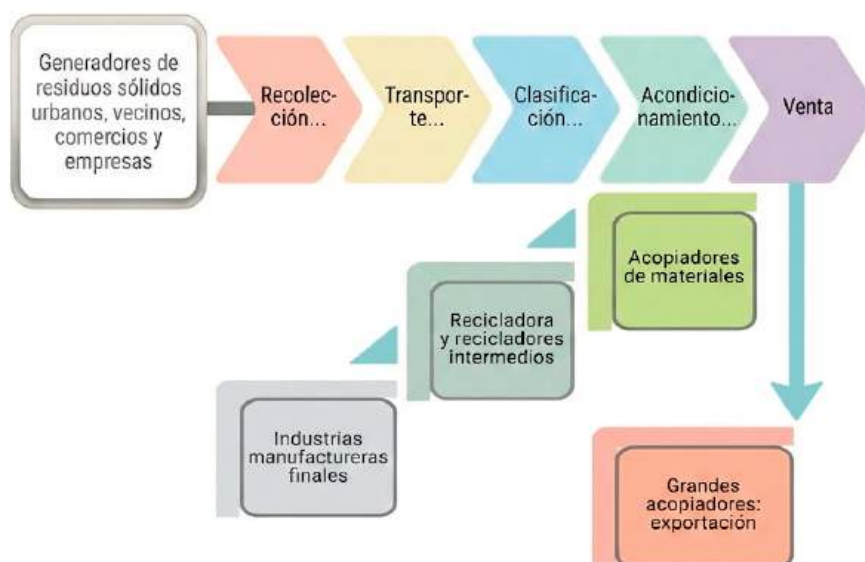
3 IMPORTANCIA DE INTEGRAR A LOS RECICLADORES EN SISTEMAS FORMALES DE GESTIÓN DE RESIDUOS

Recicladoras y recicladores: Personas que se dedican a la recolección y acopio de materiales en pequeñas cantidades destinadas a la venta directa; este es el segundo eslabón de la cadena de reciclado y el más importante en términos de acumulación y aprovisionamiento de materiales reciclables en toda Latinoamérica. Sin embargo, son quienes menos porcentaje de los ingresos obtienen.

Acopiadores: Empresas de tamaño variable (desde muy pequeñas a grandes acopiadoras) que se dedican a la compra de materiales a recicladoras y recicladores, vecinos y otros. Pueden recibirlos en sus

propias instalaciones o los recogen en los centros de acopio de las recicladoras y recicladores mediante un transporte propio.

Figura 36: Cadena de Valor de Reciclaje



Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS/Guía para la formalización e inclusión social de recicladoras y recicladores de residuos urbanos reciclables, 2017.

A partir de este punto, existen varias alternativas que se deben considerar en la cadena de gestión:

- 1. Empresas recicladoras locales:** En Bolivia existen, si bien en un número reducido, empresas que se dedican al reciclaje de los materiales recuperados para transformarlos en materia prima para empresas manufactureras. Transforman materiales procedentes de los residuos en materia prima.
- 2. Acopiadores intermedios:** Actores que compran materiales a recicladoras y recicladores particulares. Su función es acumular, clasificar y compactar los residuos para disminuir los costos de transporte y conseguir mejores precios de venta con otros intermediarios o con la industria.

3. Grandes acopiadores y exportadores:

Empresas que consolidan volúmenes significativos de residuos destinados a la exportación. El destino, la cantidad y la frecuencia de los envíos dependen del material y de las necesidades del comprador. Uno de los grandes destinos de los últimos años ha sido China, aunque también Perú y Brasil, países con tradición industrial de reciclaje de residuos.

- 4. Empresas manufactureras:** Como último eslabón de la cadena, están las empresas manufactureras que usan la materia prima reciclada en la fabricación de sus productos.

Lecciones de procesos de formalización de asociaciones de recicladores

Se exponen a continuación las principales lecciones aprendidas en los procesos

de organización y formalización de asociaciones de recicladoras y recicladores de Sucre, Cochabamba y Santa Cruz de la Sierra.

Tabla 42: Procesos de organización y formalización de asociaciones de recicladoras y recicladores

Lección aprendida	Comentarios
Promover políticas sociales municipales activas e integrales que contemplen la inclusión social, cultural, ambiental y económica de los segregadores	La ampliación de las existentes y/o la implementación de nuevas políticas sociales activas a favor de las recicladoras y recicladores contribuyen decisivamente a su inclusión social, económica y cultural, facilitando su acceso a servicios, desarrollando su noción de derechos (construcción de ciudadanía), mejorando su autoestima y la imagen que la población en su conjunto tiene sobre su actividad.
Contar con programas específicos para el apoyo a las actividades de las recicladoras y recicladores	Es necesario que los municipios cuenten con programas específicos de atención a las recicladoras y recicladores, como por ejemplo, el desarrollo de acciones y/o proyectos de inclusión económica y social basados en el reciclaje ya que no siempre las recicladoras y recicladores se encuentran en condiciones (culturales y sociales) de sostener por sí solos emprendimientos productivos y buenas relaciones comerciales con terceros.
Mejorar los sistemas de gestión de residuos sólidos domiciliarios incorporando mecanismos que promuevan y/o faciliten el desarrollo de actividades de reciclaje con inclusión social de recicladoras y recicladores	Es necesario desarrollar un conjunto de acciones entre las que se destacan: introducir cambios en los criterios de cobro por servicio prestado; incorporar la separación en la fuente y la recolección selectiva como parte de los sistemas de gestión de residuos sólidos domiciliarios; promover la transferencia de residuos limpios a los segregadores, incorporar equipamientos urbanos para la recolección de materiales reciclables que benefician a las recicladoras y recicladores, etc.
Romper el círculo perverso de la supervivencia favoreciendo la autonomía técnico-financiera de las recicladoras y recicladores	Establecer alianzas con el sector privado que potencien su capacidad técnico-financiera. La capacidad de gestión y financiera de las recicladoras y recicladores no organizados es muy limitada. Tienen muy baja capacidad de acumulación de capital, no cuentan con el conocimiento y la práctica de gestión empresarial ni de manejo de presupuestos.
Mejorar la calidad de los materiales reciclados y los procedimientos de trabajo de las recicladoras y recicladores	La mejora en la calidad de los materiales que se comercializan y los cambios en los procedimientos de trabajo se vinculan directamente a los niveles de ingreso. A la baja capacidad de negociación de las recicladoras y recicladores (debido al poco volumen que pueden acopiar y a las condiciones que establecen los acopiadores) se debe incorporar la calidad de los materiales (muchas veces sucios y/o mezclados). Es posible agregar valor a los procesos de segregación y comercialización introduciendo criterios de calidad, capacitando a los segregadores y mejorando la infraestructura y las prácticas de trabajo.
Establecimiento de procedimientos de capacitación adecuados a las características de las recicladoras y recicladores	Las recicladoras y recicladores necesitan recuperar materiales para percibir ingresos, por ello, las capacitaciones deben realizarse en momentos en los que no estén realizando esa labor, deben ser periodos cortos y es aconsejable aportarles alguna gratificación por su asistencia.
Fomentar la participación de las recicladoras y recicladores a entrar en procesos de asociación y formalización	No es nada fácil pasar de una realidad de trabajo individualista a un trabajo asociativo. Este proceso de cambio debe ser realizado de forma gradual y siempre con la participación de las recicladoras y recicladores. Es un cambio "cultural" muy importante que debe tratarse y aceptarse por todos para no comprometer la viabilidad del negocio.

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS/Guía para la formalización e inclusión social de recicladoras y recicladores de residuos urbanos reciclables, 2017.

4 BENEFICIOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y AMBIENTALES DE LA FORMALIZACIÓN

La formalización de los recicladores dentro de los sistemas de gestión integral de residuos constituye una estrategia clave para mejorar la sostenibilidad ambiental, fortalecer la inclusión social y promover el

desarrollo económico. En muchos países en desarrollo, el reciclaje ha sido históricamente realizado por trabajadores del sector informal, quienes recuperan materiales reciclables en condiciones de vulnerabilidad laboral. Integrarlos en sistemas formales permite reconocer su aporte al manejo sostenible de los residuos y mejorar sus condiciones de vida.

4.1 Beneficios sociales

Desde el punto de vista social, la formalización de los recicladores contribuye a mejorar significativamente sus condiciones de trabajo y calidad de vida. La organización en cooperativas o asociaciones permite el reconocimiento legal de su actividad, el acceso a seguridad social, capacitación técnica y mejores condiciones laborales. Además, facilita la inclusión social de grupos vulnerables y promueve la reducción de la pobreza urbana.

La formalización también favorece la dignificación del trabajo del reciclador, reconociendo su papel como actor fundamental dentro de la gestión de residuos y en la protección del ambiente. Diversos organismos internacionales, como la Organización Internacional del Trabajo (OIT), destacan que la formalización contribuye a la generación de empleos verdes y al desarrollo de condiciones de trabajo decente dentro de la economía ambiental.

4.2 Beneficios económicos

En el ámbito económico, la formalización fortalece las cadenas de valor del reciclaje, ya que permite mejorar la organización de los procesos de recolección, clasificación y comercialización de materiales reciclables. Esto genera mayores ingresos para los recicladores y aumenta la eficiencia del sistema de reciclaje.

Asimismo, la integración de recicladores en sistemas formales reduce los costos de gestión de residuos para los gobiernos locales, al disminuir la cantidad de residuos que deben ser transportados y dispuestos en rellenos sanitarios. De acuerdo con estudios del Banco Mundial, el sector informal del reciclaje puede representar

un ahorro significativo en los sistemas municipales de manejo de residuos.

La formalización también impulsa el desarrollo de nuevos mercados relacionados con el reciclaje y la valorización de residuos, contribuyendo al fortalecimiento de la economía circular y al uso eficiente de los recursos.

4.3 Beneficios ambientales

Desde la perspectiva ambiental, los recicladores desempeñan un papel fundamental en la recuperación y aprovechamiento de materiales reciclables, como papel, cartón, plástico, vidrio y metales. La formalización de su actividad mejora la eficiencia de estos procesos y aumenta las tasas de reciclaje.

Al recuperar materiales que pueden reincorporarse al ciclo productivo, se reduce la extracción de materias primas, el consumo de energía y la generación de residuos que llegan a los vertederos. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el fortalecimiento del reciclaje contribuye a disminuir la contaminación ambiental y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la disposición final de residuos.

5 IMPACTO DEL RECICLAJE INCLUSIVO EN EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Las ventajas de la formalización se pueden determinar de la siguiente manera:

a) Incremento de los ingresos: Permite acceder a contratos con la administración pública o empresas privadas para la recolección de residuos reciclables en dependencias municipales y corporativas.

Aunque requiere una inversión inicial de tiempo y recursos financieros, abre las puertas a mercados de mayor escala.

b) Acceso garantizado a los materiales reciclables:

Resuelve una de las principales preocupaciones de las recicladoras y los recicladores informales, pues el acceso a los materiales determina que puedan realizar su trabajo o no.

c) Mejora de las condiciones de trabajo:

Facilita la transición de la economía informal a la formal, reduciendo la exposición de las y los trabajadores a situaciones de vulnerabilidad y abuso, y promoviendo condiciones de trabajo con igualdad de derechos. Asimismo, fomenta el uso seguro de herramientas y la utilización adecuada de equipos de protección personal (EPP).

d) Posibilidad de acceder a servicios de salud públicos.

Ofrece la posibilidad de incorporarse a los sistemas de salud. En el contexto de Bolivia, esto facilita la adscripción a las prestaciones del Sistema Único de Salud (SUS), mitigando el impacto de tener que recurrir a costosos servicios privados ante contingencias médicas.

e) Seguridad jurídica y continuidad operativa:

Protege a la organización frente al cierre de actividades o sanciones administrativas durante las inspecciones de las autoridades locales, brindando la tranquilidad de operar en total cumplimiento con la ley.

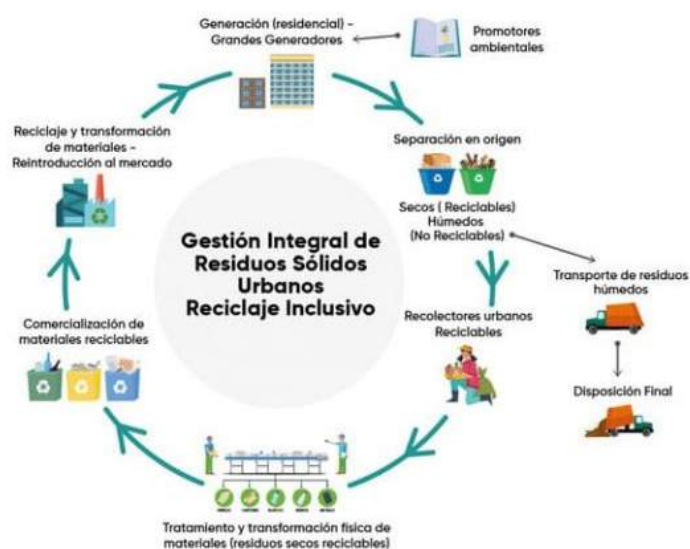
f) Fortalecimiento del tejido social:

El propio proceso de asociación y de trabajo conjunto ya es un avance social. Proporciona un espacio de apoyo mutuo para personas en situaciones similares donde pueden ser escuchadas. A medida que las asociaciones se afianzan en una zona, son más conocidas por los vecinos y pueden así ampliar el círculo de las personas que conocen, en otras condiciones eso no sería posible.

g) Reconocimiento como agentes ambientales.

Con un poco de capacitación por parte del municipio y lo mucho que saben respecto al reciclaje, son un buen aliado en la realización de campañas de sensibilización ambiental. Eso ayuda mucho en el aumento de la autoestima y en reconocimiento por parte de los vecinos.

Figura 37: Modelo de GIRS con reciclaje Inclusivo



Fuente: <https://cooperativas.com.ar/presentan-un-mapa-para-ubicar-basurales-y-cooperativas-de-reciclaje-de-argentina/>

7 WEBGRAFÍA



Con la finalidad de fortalecer el aprendizaje autónomo y complementar los contenidos e información desarrollados en cada Guía Técnica o Unidad Temática, se presenta la siguiente webgrafía. Los documentos y videos digitales seleccionados permitirán al personal docente ampliar sus conocimientos y reforzar la comprensión de los contenidos abordados.

¿Qué es el desarrollo sostenible y porque es importante?

<https://www.youtube.com/watch?v=2t60OLIFINY>

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible

<https://www.youtube.com/watch?v=MCKH5xk8X-g>

Hacia Ciudades Sostenibles: Gestión de Residuos y Economía Circular

https://www.youtube.com/watch?v=AuDRmh1GT_s

Gestion ambiental - clasificación de residuos

<https://www.youtube.com/watch?v=UwC2YIm6Mvk>

Impacto ambiental por residuos

<https://www.youtube.com/watch?v=Jq3Hj0ixS1s>

La economía circular como eje del reciclaje inclusivo

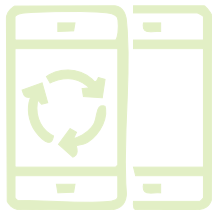
<https://www.youtube.com/watch?v=8UDiGeZH7bc>

¿Qué es Reciclaje Inclusivo?

<https://www.youtube.com/watch?v=ARkyXzpp9Pk>



UNIDAD TEMÁTICA 7



GESTIÓN INTEGRAL
DE RESIDUOS
E INNOVACIÓN
TECNOLÓGICA

1 CONCEPTO DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS (GIRS)

La Ley 755 define la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) como el sistema conformado por procesos de planificación, desarrollo normativo, organización, sostenibilidad financiera, gestión operativa, ambiental, educación y desarrollo comunitario para la prevención, reducción, aprovechamiento y disposición final de residuos, en un marco de protección a la salud y el medio ambiente (Art.7).

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la Gestión Integral de Residuos implica la planificación y aplicación de estrategias que permitan reducir la generación de residuos, promover su reutilización y reciclaje, así como garantizar su tratamiento y disposición final de manera ambientalmente segura (UNEP, 2015).

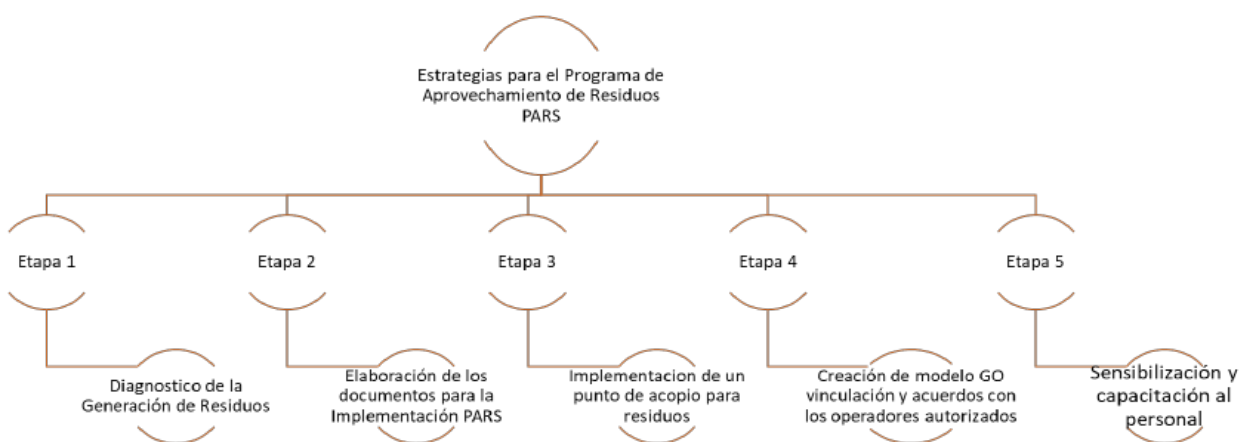
De manera similar, autores como Tchobanoglous señalan que la Gestión

Integral de Residuos Sólidos es un sistema que integra diferentes etapas y tecnologías para el manejo eficiente de los residuos, considerando aspectos ambientales, económicos y sociales dentro de un marco de sostenibilidad (Tchobanoglous, Theisen & Vigil, 1994).

2 PLANES DE GESTIÓN DE RESIDUOS EN INSTITUCIONES Y EMPRESAS

Los planes de gestión de residuos en instituciones y empresas son instrumentos de planificación que establecen las estrategias, procedimientos y acciones necesarias para manejar adecuadamente los residuos generados durante las actividades administrativas, productivas o de servicios. Estos planes buscan minimizar la generación de residuos, promover su aprovechamiento y garantizar su tratamiento y disposición final de manera segura, contribuyendo a la protección del ambiente y al cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Figura 38: Estrategias para el desarrollo de Programa de Aprovechamiento de Residuos



Fuente: Programa CIERVA.

Un plan de gestión de residuos se enmarca dentro del enfoque de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), que considera todas las etapas del manejo de residuos

desde su generación hasta su disposición final. De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, los sistemas de gestión de residuos deben

incorporar estrategias de reducción, reutilización, reciclaje y tratamiento, con el fin de disminuir los impactos ambientales asociados a la generación de desechos (UNEP, 2015).

Componentes de un plan de gestión de residuos

Un plan de gestión de residuos generalmente incluye los siguientes elementos:

Etapas I

- Diagnóstico de generación de residuos. Identificación y caracterización de los residuos generados en la institución o empresa, considerando su cantidad, tipo y origen.

Etapas II

- Clasificación de residuos. Separación de los residuos según su naturaleza, por ejemplo: orgánicos, reciclables, no reciclables y peligrosos.
- Estrategias de reducción y prevención. Implementación de medidas orientadas a disminuir la generación de residuos en la fuente mediante prácticas de consumo responsable, optimización de procesos y uso eficiente de materiales.
- Sistema de separación en la fuente. Establecimiento de contenedores diferenciados y procedimientos para facilitar la clasificación adecuada de los residuos desde su generación.

Etapas III

- Recolección y almacenamiento temporal. Definición de mecanismos y espacios adecuados para el manejo interno de los residuos hasta su traslado

para tratamiento o disposición final.

- Aprovechamiento y reciclaje. Implementación de programas de reciclaje y reutilización de materiales, promoviendo la vinculación con recicladores o empresas especializadas.

Etapas IV

- Tratamiento y disposición final. Aplicación de procesos de tratamiento cuando sea necesario y disposición final en instalaciones autorizadas que cumplan con criterios ambientales.

Etapas V

- Capacitación y sensibilización. Programas educativos dirigidos al personal para fomentar buenas prácticas de manejo de residuos.
- Monitoreo y evaluación. Seguimiento de los resultados del plan mediante indicadores que permitan evaluar su eficacia y realizar mejoras continuas.

3 INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍAS PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS

La innovación y el desarrollo de tecnologías aplicadas a la gestión de residuos desempeñan un papel fundamental en la transición hacia sistemas más eficientes, sostenibles y alineados con los principios de la economía circular. El crecimiento de la población, la urbanización y el aumento del consumo han incrementado la generación de residuos, lo que ha impulsado la necesidad de implementar soluciones tecnológicas que permitan mejorar los procesos de recolección, tratamiento, reciclaje y valorización de residuos.

El modelo de las 3R (Reducir, Reutilizar y Reciclar), complementado con tecnologías innovadoras, permite reducir la cantidad de residuos que llegan a los sistemas de disposición final, aprovechar materiales valiosos y disminuir los impactos ambientales. Su implementación es clave para avanzar hacia modelos de economía circular y desarrollo sostenible.

Figura 39: Modelo de las 3R



Fuente: <https://www.webyempresas.com/estrategia-de-las-3r/>

El modelo de las 3R, complementado con tecnologías innovadoras, permite reducir la cantidad de residuos que llegan a los sistemas de disposición final, aprovechar materiales valiosos y disminuir los impactos ambientales. Su implementación es clave para avanzar hacia modelos de economía circular y desarrollo sostenible

3.1 Tecnologías para la recolección y clasificación de residuos

En la etapa de recolección y separación, diversas tecnologías permiten mejorar la eficiencia de los sistemas de manejo de residuos. Entre ellas se encuentran:

- Sistemas de contenedores inteligentes, equipados con sensores que permiten

monitorear el nivel de llenado y optimizar las rutas de recolección.

- Plantas automatizadas de clasificación, que utilizan sensores ópticos, imanes y corrientes de Foucault para separar diferentes materiales reciclables.
- Sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID) para el seguimiento y control de los residuos.

Estas tecnologías permiten mejorar la eficiencia operativa de los sistemas de recolección y aumentar la recuperación de materiales reciclables.

Figura 40: Tecnologías inteligentes en la recolección programada



Fuente: <https://www.recolecciondebasuraseredecom.mx/tecnologia-inteligente-para-la-recoleccion-de-basura-programada-beneficios-para-la-comunidad-empresarial>

3.2 Tecnologías de reciclaje

El reciclaje ha experimentado importantes avances tecnológicos que permiten recuperar materiales con mayor eficiencia y calidad. Algunas de las tecnologías más utilizadas incluyen:

- Reciclaje mecánico, que consiste en la trituración, lavado y reprocesamiento de materiales como plásticos, papel y metales.
- Reciclaje químico, que transforma los residuos plásticos en sus componentes

básicos para producir nuevos materiales o combustibles.

- Tecnologías de reciclaje de residuos electrónicos, que permiten recuperar metales valiosos como cobre, aluminio y metales preciosos.
- Estas tecnologías contribuyen a cerrar los ciclos de materiales y a fortalecer las cadenas de valor del reciclaje.

Figura 41: Tecnologías de reciclaje mecánico



Fuente: <https://cycloliving.com/2025/05/27/reciclaje-industrial-innovacion-tecnologica/>

3.3 Tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos

Los residuos orgánicos representan una proporción significativa de los residuos sólidos urbanos. Para su manejo adecuado se han desarrollado diversas tecnologías de tratamiento biológico, entre las que destacan:

- Compostaje, proceso biológico que transforma los residuos orgánicos en abono natural.
- Digestión anaerobia, que permite producir biogás y fertilizantes a partir de residuos orgánicos.
- Biorreactores y sistemas de tratamiento biológico avanzado, utilizados para acelerar la degradación de residuos orgánicos.

Figura 42: Tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos



Fuente: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/08/28/innovadora-tecnologia-para-facilitar-el-compostaje-de-residuos-organicos/>

3.4 Tecnologías de valorización energética

Otra alternativa innovadora es la valorización energética de residuos, que consiste en aprovechar el contenido energético de los residuos mediante procesos como:

- Incineración con recuperación de energía.
- Gasificación y pirólisis, que transforman los residuos en combustibles o gases sintéticos.
- Producción de combustibles derivados de residuos (CDR).

Estas tecnologías permiten reducir el volumen de residuos y generar energía, aunque su implementación requiere controles ambientales estrictos para evitar emisiones contaminantes.

Figura 43: Tratamiento de residuos generación de energía



Fuente: <https://inspenet.com/articulo/tratamiento-de-residuos-y-generacion-energia/>

3.5 Innovación y economía circular

Las innovaciones tecnológicas en la gestión de residuos están estrechamente vinculadas con el concepto de economía

circular, que busca mantener los materiales en uso durante el mayor tiempo posible y minimizar la generación de residuos. Organizaciones como la Fundación Ellen MacArthur promueven la adopción de modelos productivos que integren el reciclaje, la reutilización y la valorización de residuos como parte de sistemas sostenibles de producción y consumo.

Asimismo, estas iniciativas contribuyen al cumplimiento de los objetivos promovidos por la Organización de las Naciones Unidas en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, particularmente el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12, relacionado con la producción y consumo responsables.

Figura 44: Reciclaje de RAEE



Fuente: Esquema Pizzara tecnológica.

En conclusión, la innovación y el desarrollo tecnológico son herramientas fundamentales para mejorar la gestión de residuos, ya que permiten:

- Optimizar los sistemas de recolección y clasificación.
- Aumentar las tasas de reciclaje y recuperación de materiales.
- Transformar residuos en recursos o energía.
- Y reducir los impactos ambientales asociados a la disposición final.

4 APLICACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN SISTEMAS PRODUCTIVOS

La economía circular es un modelo de producción y consumo que busca reducir el uso de recursos naturales, minimizar la

generación de residuos y mantener los materiales en uso durante el mayor tiempo posible mediante estrategias como la reutilización, el reciclaje, la reparación y la valorización de materiales. A diferencia del modelo económico lineal tradicional basado en “extraer–producir–consumir–desechar”, la economía circular promueve sistemas productivos que integran ciclos cerrados de materiales y energía.

La aplicación de este enfoque en los sistemas productivos permite transformar los residuos en recursos, optimizar el uso de materias primas y reducir los impactos ambientales asociados a los procesos industriales. Según la Fundación Ellen MacArthur, la economía circular se basa en principios como el diseño para eliminar residuos y contaminación, mantener productos y materiales en uso, y regenerar los sistemas naturales.

Figura 45: Procesos productivos y Reciclaje de residuos



Fuente: <https://safetyculture.com/es/temas/gestion-de-residuos>

5. GUIAS DE MANEJO DE RESIDUOS

Para definir estrategias orientadas a la implementación de planes o programas de gestión de residuos, es fundamental identificar de manera específica los tipos de residuos que se generan en los procesos, servicios y actividades desarrolladas.

En este contexto, la elaboración de una matriz de generación de residuos constituye una herramienta clave que permite estructurar y definir estrategias adecuadas, garantizando una gestión integral y eficiente de los residuos.

Los procedimientos para la implementación se estructuran de acuerdo con las características específicas de los residuos, lo que permite su aplicación operativa al momento de definir las acciones a desarrollar en cada proceso, en cumplimiento de las estrategias establecidas.

En el Anexo 1 se presentan ejemplos de herramientas a implementar.

6 WEBGRAFÍA



Con la finalidad de fortalecer el aprendizaje autónomo y complementar los contenidos e información desarrollados en cada Guía Técnica o Unidad Temática, se presenta la siguiente webgrafía. Los documentos y videos digitales seleccionados permitirán al personal docente ampliar sus conocimientos y reforzar la comprensión de los contenidos abordados.

Planes de gestión integral de residuos sólidos

<https://www.youtube.com/watch?v=GPIcH8RAJTk>

Plan de gestión de residuos ¿Qué significa?

<https://www.youtube.com/watch?v=tXK4k-u7P34>

Planes de gestión integral de residuos sólidos

<https://www.youtube.com/watch?v=GPIcH8RAJTk>

Cuáles son las 3R de la Ecología

<https://www.youtube.com/watch?v=rRCZzrMjiY0>

Tecnologías para el manejo de residuos

https://www.youtube.com/watch?v=Cb2jkt8_WxM

La tecnología del reciclaje

<https://www.youtube.com/watch?v=rqfpoxErteM>

¿Cómo transformar la basura en energía?

<https://www.youtube.com/watch?v=Blt-P6WmYBI>

Residuos Peligrosos #RAEE

<https://www.youtube.com/watch?v=dWqRdspzYow>

Estrategias metodológicas generales

Las estrategias metodológicas se seleccionan en función de las competencias y habilidades que se pretende desarrollar en los estudiantes para responder a los desafíos del entorno laboral. Entre ellas se encuentran la resolución de problemas complejos, el pensamiento crítico, la inteligencia emocional, la toma de decisiones, la orientación al servicio, la capacidad de negociación y la flexibilidad cognitiva, entre otras. El desarrollo de estas habilidades requiere un reenfoque de las formas de enseñanza, situando en el centro del proceso de enseñanza y aprendizaje el desempeño y las competencias que el estudiante debe adquirir de acuerdo con su área de formación.

En ese sentido, el docente debe aplicar estrategias metodológicas que propicien experiencias de aprendizaje orientadas al descubrimiento de nuevos conocimientos y al desarrollo de competencias. Para ello, el estudiante asume un papel activo y participativo, interactuando con conceptos, teorías y principios, así como con los recursos y medios del proceso formativo, mediante actividades prácticas sustentadas en los principios de aprender a aprender y aprender haciendo.

Las estrategias metodológicas generales propuestas para el área de Residuos Sólidos se fundamentan en el análisis de contenidos, los criterios de evaluación y los resultados de aprendizaje. Estas permiten la planeación, ejecución y control del proceso de aprendizaje desarrollados por el docente en los Institutos Técnicos y Tecnológicos.

En función de los objetivos de aprendizaje, la naturaleza de la asignatura y las características de los estudiantes, el docente podrá seleccionar y adaptar las estrategias metodológicas más pertinentes. Entre las principales se encuentran:

7.1 APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS (ABP)

Nilson, L. (2010) establece: *“El aprendizaje basado en problemas es un enfoque centrado en el estudiante, en el cual los estudiantes aprenden sobre un tema, trabajando en grupos, para resolver un problema que puede tener múltiples soluciones. Este problema es lo que impulsa la motivación y el aprendizaje”*. Esta estrategia metodológica, por lo tanto, fomenta la reflexión, la cooperación y la toma de decisiones por parte del estudiante en torno a un problema diseñado, ficticio o real, situado en el contexto del área de formación. Es planteado por el docente con el objetivo de desarrollar un aprendizaje a partir de la propuesta de solución.

Esta estrategia metodológica se fundamenta en la premisa de que el aprendizaje más efectivo ocurre cuando se sitúa en un contexto o en una problemática del mundo real.

En este enfoque, el estudiante integra los conocimientos adquiridos y sus experiencias previas para analizar situaciones, plantear soluciones y trabajar de manera colaborativa, favoreciendo la integración de distintas disciplinas.

Asimismo, promueve un aprendizaje activo y centrado en el estudiante, basado en la investigación, el análisis y la búsqueda de información. En este proceso, el docente asume el rol de facilitador y guía, orientando el aprendizaje y promoviendo el desarrollo de competencias para la resolución de problemas.

Los pasos básicos para su desarrollo son los siguientes:

- a) Planificación y organización:** El docente define la conformación de los grupos de trabajo, establece los lineamientos, las condiciones, los plazos y las formas de presentación de las propuestas de solución.
- b) Presentación del problema:** El docente presenta una situación o problema, real o ficticio, que requiere una propuesta de solución, aclarando que no existe una solución única.
- c) Delimitación del problema e identificación de las necesidades de aprendizaje:** Los estudiantes analizan y delimitan el problema, identifican los conocimientos y habilidades que tienen para su resolución, así como los que requieren adquirir.
- d) Distribución de tareas de investigación:** Los estudiantes organizan las actividades de investigación, definiendo los objetivos, las responsabilidades y las fuentes de información necesarias, con el acompañamiento del docente cuando corresponda.
- e) Diseño y presentación de solución:** Con base en la información recopilada, los estudiantes integran nuevos conocimientos, analizan alternativas, toman decisiones y elaboran una propuesta de solución pertinente y fundamentada, la cual presentan conforme a las condiciones establecidas por el docente.
- f) Evaluación y autoevaluación:** Docente y estudiantes evalúan de manera conjunta la viabilidad y pertinencia de la solución propuesta, verificando el grado de resolución del problema. A partir de la reflexión y el diálogo, se identifican oportunidades de mejora y se plantean nuevos problemas o desafíos de aprendizaje.

El Aprendizaje Basado en Problemas debe orientarse a la resolución de problemas reales o contextualizados que demanden soluciones prácticas y aplicables. En la formación técnica, esta estrategia adquiere especial relevancia, ya que el proceso formativo se desarrolla con un enfoque predominantemente práctico (70 %), priorizando el desarrollo de habilidades, competencias y el saber hacer.

7.2 ESTUDIO DE CASO

El Estudio de Caso fue inicialmente concebido como una técnica cualitativa de investigación y en una segunda etapa, como un método educativo. Facilita el proceso de enseñanza y aprendizaje a través de un enfoque que privilegia el autoaprendizaje, bajo una dinámica esencialmente constructivista.

En el área de Residuos Sólidos, el Estudio de Caso consiste en el análisis integral de una situación o problemática específica con la finalidad de comprender sus causas, realizar un diagnóstico y proponer soluciones fundamentadas. Esta estrategia metodológica promueve la observación, el registro y el análisis de información, la comprobación y el contraste de fenómenos, situaciones y hechos, así como la aplicación de procedimientos alternativos para la resolución de problemas. Estos procesos conducen al desarrollo del pensamiento crítico, entendido como una habilidad que implica competencias para evaluar, argumentar, debatir, sustentar y tomar decisiones orientadas a la transformación de la realidad.

A continuación, se detallan las etapas del proceso de Estudio de Caso como estrategia metodológica de enseñanza:

- a) Redacción del Caso:** Delimitar el objetivo de enseñanza y las competencias que se desean desarrollar son elementos básicos para la construcción o selección del Caso de Estudio; el docente deberá plantearse preguntas exploratorias, diagnósticas predictivas o prescriptivas entorno al Caso.
- b) Presentación a los estudiantes:** Después de la organización de los equipos, el docente presenta el Caso a los estudiantes a través de una proyección visual (película, video), documento escrito u otro, estimulando las primeras reacciones de los estudiantes.
- c) Exploración inicial:** Se propicia el debate inicial con opiniones diversas de los estudiantes en base a sus conocimientos y experiencias previas. Estos fortalecen la interacción y la comprensión de los diferentes puntos de vista y promueven un análisis inicial a partir del cual se establece la ruta.
- d) Análisis e investigación:** Parte central del Estudio de Caso, en la que los estudiantes, en grupo, investigan, recopilan y registran datos, contrastan información y ejercitan acciones prácticas de solución. La etapa concluye cuando los estudiantes articulan una síntesis objetiva de respuesta o solución aceptada por todos los integrantes del grupo.
- e) Síntesis-Acciones prácticas:** Se caracteriza por la formulación y presentación de una síntesis del Caso que integra una introducción, una argumentación técnica compuesta por un diagnóstico y una propuesta de intervención sustentada en definiciones, principios, conceptos operativos o procedimentales que son aplicables al Caso, cerrando con una conclusión.

Estos pasos constituyen la base para el desarrollo del Estudio de Caso. Su aplicación será más efectiva cuando el caso se presente como una orden de trabajo o una situación real vinculada al área de Residuos Sólidos, basada en problemáticas que el estudiante deberá afrontar en su futuro desempeño como técnico.

7.3 APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS (ABP)

Entre las metodologías de enseñanza activas, el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), aplicada en el contexto de la Educación Superior, es considerada altamente efectiva por promover un aprendizaje significativo, no solo por la adquisición de conocimientos nuevos, sino por contribuir de forma directa en el desarrollo de competencias transversales como pensamiento crítico, creatividad, colaboración interdisciplinaria, entre otros, que son esenciales para el desempeño profesional. Este método implica un aprendizaje organizado, efectuado por pequeños grupos de trabajo, quienes realizan un proyecto de producción concreta y tangible para la resolución de una problemática real, relacionado a la naturaleza del área de aprendizaje o de la asignatura específica, contemplando las etapas más elementales de construcción de un proyecto; es decir: diseño, planificación, ejecución y evaluación.

En la formación superior Técnica y Tecnológica, esta metodología permite la innovación, la integración de tecnologías y la articulación de diferentes áreas de conocimiento o especialidades; asimismo, se puede lograr mejores resultados al gestionar la colaboración de instituciones externas, como empresas o espacios productivos, las cuales, al concretarse, permiten que los proyectos se alineen a las necesidades y demandas del mercado laboral, al ser implementadas en un contexto real. Por lo tanto, el Aprendizaje Basado en Proyectos es el preferido en este ámbito educativo por sus resultados y evidencias de aprendizaje.

A continuación, detallaremos las etapas que componen la metodología del Aprendizaje Basado en Proyectos:

- a) Planteamiento del Proyecto:** Surge a partir de la identificación del problema que se pretende abordar, el cual puede ser trabajado de forma conjunta en el aula, delimitando el planteamiento de la pregunta guía y posibles propuestas de solución.
- b) Organización y plan de trabajo:** La conformación de los equipos de trabajo al interior del grupo o de forma transdisciplinar, guiados por un interés común y la delegación de responsabilidades específicas, es parte de la organización inicial a desarrollar. La fijación de los objetivos del proyecto y su producto guiarán el plan de trabajo, el cual debe incluir: justificación, actividades, recursos, insumos, tiempo y otros. El docente asume un rol de guía, aportando con conocimientos y habilidades para el logro de las competencias esperadas.
- c) Ejecución:** Etapa en la que se desarrollan las actividades programadas, tanto investigativas como de análisis de información, para concluir con la creación del producto final. En esta

área, las actividades de aprendizaje central serán la construcción, diseño, fabricación o mantenimiento de un prototipo.

d) *Presentación y evaluación:* De acuerdo a los lineamientos de trabajo establecidos por el docente, se realizará la presentación del proyecto en aula, taller u otro espacio. La evaluación deberá demostrar el logro de las competencias a través de la descripción de cada fase de realización del proyecto.

Esta metodología de enseñanza debe ser adaptada por el docente en función de los resultados de aprendizaje previstos, el tiempo disponible y el alcance de los proyectos, incorporando de manera transversal, durante todo su desarrollo, un enfoque verde y de equidad de género.

7.4 APRENDIZAJE COLABORATIVO

Una de las metodologías de enseñanza más conocidas en los procesos formativos es el Aprendizaje Colaborativo, el cual fomenta el trabajo conjunto entre pares con la finalidad de cohesionar el grupo de estudiantes conforme sus intereses y expectativas educativas, pero con roles definidos para la solución de una tarea técnica específica planteada por el docente, asumiendo de forma conjunta responsabilidad de sus resultados. Se fundamenta en el hecho de que los conocimientos y habilidades previas de los estudiantes son variados, pero en un trabajo colaborativo, los mismos se nutren en un proceso de permanente retroalimentación en el que el estudiante asume un rol de liderazgo, responsabilidad por el aprendizaje y autonomía en la toma de decisiones. Usualmente este tipo de metodología se realiza de forma permanente, no obstante, en el presente caso se caracteriza por el planteamiento de tareas concretas para su atención en un tiempo corto.

Existen diferentes tipos de Aprendizaje Colaborativo, desde grupos de estudio hasta grupos de debate y otros. Para el área de Residuos Sólidos se utilizarán los Talleres de intercambio de habilidades, en los que los estudiantes, en base a una tarea concreta, puedan enseñar sus diferentes habilidades y destrezas al resto del equipo. Ello permitirá un juego de roles dentro del proceso enseñanza y aprendizaje, siendo el docente el acompañante para verificar el cumplimiento de los procesos técnicos y de las medidas de seguridad aplicables. Esta metodología permitirá una interdependencia positiva, interacción técnica, responsabilidad individual y compromiso por los resultados conjuntos.

Los pasos básicos a desarrollar en el aula taller para la aplicación de esta metodología de enseñanza son los siguientes:

a) *Delimitación de la tarea práctica a desarrollar:* El docente realiza el planteamiento de la tarea técnica a efectuar, presentando un problema real acorde al área de conocimiento que se desarrolla; un criterio base para su efectividad es no dar a conocer la solución o respuesta.

- b) Conformación de equipos y asignación de roles:** El docente conforma los equipos y asigna los roles. Al tratarse de Residuos Sólidos, estos pueden ser: técnico ejecutor, responsable de seguridad, técnico de medición, registrador, entre otros. Los estudiantes asumen así una responsabilidad individual, comprendiendo que su actuar afecta a todo el grupo.
- c) Aplicación de estructuras colaborativas:** El equipo de estudiantes analiza el problema, discute para la toma de decisiones, ejecuta el procedimiento y reflexiona sobre los resultados; se sugiere que en el proceso verbalice las acciones y resultados. El docente acompaña el proceso observando, orientando, formulando preguntas técnicas y promoviendo la reflexión.
- d) Evaluación de los resultados de la colaboración:** El grupo explica su actuar, sus aciertos, dificultades y conclusiones. Este proceso permite la retroalimentación del docente, evaluando el desempeño técnico y el grado de colaboración del grupo, así como su incidencia en los resultados obtenidos.

	PROYECTO	Nro. Rev.:01	Código:
	GESTIÓN CON OPERADORES AUTORIZADOS	Pagina:	

8.1. Desarrollo de campañas de sensibilización

Para que el programa de aprovechamiento de residuos sea sostenible, el Instituto deberá desarrollar campañas de sensibilización al plantel docente, estudiantil y al personal de servicios.

8.2. Punto de acopio de residuos

Una vez implementado el punto de acopio, es importante analizar sus resultados y evaluar si se están cumpliendo los objetivos establecidos. Esto puede incluir el análisis de las cantidades de residuos o la disminución de los mismos en el Instituto.

El acopio de residuos deberá realizarse en áreas techadas o mediante el uso de contenedores con tapa, a fin de evitar el ingreso de agua de lluvia, el deterioro de los residuos y la formación de condiciones propicias para la proliferación de mosquitos vectores de enfermedades, como el dengue.

8.3. Convenio con operadores autorizados

Los operadores autorizados son negocios que se dedican a comprar y vender los materiales reciclables. Frecuentemente este tipo de establecimientos se especializan en un tipo de materiales, varían en tamaño y grado de incorporación de técnicas para preprocesarlos antes de su reciclado. Un buen número de estas empresas venden los materiales valorizables acopiados a industrias recicladoras o coprocesadoras de materiales secundarios y algunas llevan a cabo procesos de reciclado.

8.4. Cronograma de actividades

Se desarrolla a continuación el cronograma de actividades necesarias para dar ejecución al programa de aprovechamiento de residuos plásticos en el Instituto Tecnológico Ayacucho:

Tabla 43: Cronograma de actividades.

	NOVIEMBRE					DICIEMBRE			
Actividades	(sem 1)	(sem 2)	(sem 3)	(sem 4)	(sem 5)	(sem 6)	(sem 7)	(sem 8)	
Identificación de punto de acopio temporal de residuos									
Adquisición de contenedores / basureros			X						
Compra de señalética			X						
Desarrollo de campañas de sensibilización				X	X				
Convenios / contratos con operadores de residuos				X	X				
Seguimiento y evaluación									

8.5. Presupuesto de actividades

Finalmente, se presenta un cuadro resumen del presupuesto total que abarcará el programa de aprovechamiento de residuos, así como su desarrollo en los plazos establecidos, teniendo como resultado:

Nro.	Item	Costo Bs.	Comentarios
1	Compra de Contenedores		El presupuesto difiere del tamaño del contenedor a adquirir
2	Compra de Señalética		Cuántas se requiere
3	Material de Sensibilización (afiches/banners)		De acuerdo a lo definido por el ITT
4	Organización logística de la campaña		
Total			

Nota: El presupuesto será de acuerdo al contexto a desarrollar la campaña

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos, se establecen las siguientes conclusiones:

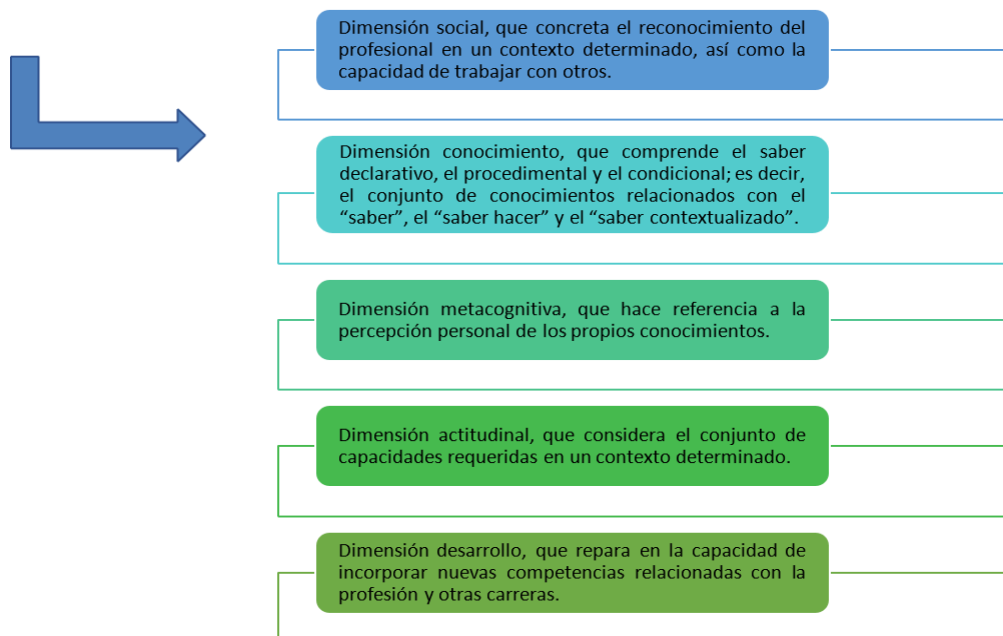
- Los residuos que se generan de las actividades del Instituto Tecnológico Ayacucho son depositados en contenedores destinados para la disposición de los residuos sin ningún control sobre su manejo y disposición final.
- El diseño e implementación del programa de aprovechamiento de residuos permitirá mejorar el control de los residuos generados y favorecerá su manejo diferenciado respecto al resto de los residuos, de acuerdo con sus características y posibilidades de aprovechamiento.
- Las capacitaciones al plantel docente y estudiantil sobre la gestión adecuada de residuos demostraron su efectividad y concientización sobre la separación y disposición adecuada de acuerdo a los resultados de las pruebas.
- Los resultados del diagnóstico de la composición de los residuos muestran que se genera una cantidad variable de residuos según las áreas evaluadas, los cuales pueden ser aprovechados mediante procesos de valorización y gestionados adecuadamente a través de operadores autorizados.

Criterios de evaluación

La evaluación por competencias es un proceso continuo e integral orientado a la recolección de evidencias sobre el desempeño del estudiante, con la finalidad de verificar el logro progresivo de las competencias establecidas en la Matriz Base y de las competencias específicas de cada carrera. Asimismo, permite identificar las áreas de desempeño que requieren fortalecimiento mediante acciones de capacitación, nivelación u otras estrategias formativas, con el propósito de que el estudiante alcance el nivel de competencia esperado.

En este enfoque, la evaluación implica valorar la capacidad de realizar, ejecutar y demostrar desempeños técnicos en situaciones reales o simuladas de trabajo, trascendiendo la mera medición de conocimientos teóricos. No obstante, también comprende la valoración de los contenidos conceptuales que sustentan las competencias, constituyéndose en una evaluación integral de conocimientos, habilidades, destrezas y valores aplicados en contextos específicos.

Desde el enfoque de la competencia laboral, Van der Herdjen y Barbier (1999) proponen cinco dimensiones básicas en la evaluación de competencias:



La valoración del aprendizaje se realizará mediante evidencias observables de desempeño, producto y conocimiento, articuladas a prácticas de laboratorio, actividades de taller, resolución de casos técnicos y proyectos aplicados. En este marco, la evaluación se define por las competencias que serán valoradas, el nivel de profundidad, el momento en que se realizará y los resultados de aprendizaje esperados.

Para ello, es fundamental seleccionar los métodos de evaluación más adecuados al tipo de desempeño que se pretende valorar, así como las evidencias pertinentes, ya que estas permitirán determinar el nivel de competencia alcanzado por el estudiante. De este modo, la evaluación contribuye a promover la mejora continua, la prevención de riesgos y la toma de decisiones técnicas responsables, en el marco de la sostenibilidad ambiental y de una adecuada gestión de residuos en los procesos productivos.

En el siguiente cuadro se establecen los criterios generales de evaluación, los tipos de evidencias a considerar y los instrumentos aplicables al área de Residuos Sólidos. Estos servirán como guía para el docente y podrán ajustarse de acuerdo con las competencias específicas, la naturaleza de la asignatura y la unidad temática correspondiente:

UC	Criterios de evaluación	Tipos de evidencia	Instrumentos de evaluación
UC-1	• Aplica correctamente la segregación de residuos gráficos (papel, vinil, tintas, solventes) según normativa y tipo de proceso. • Minimiza el uso de materiales mediante optimización de formatos y diseño. • Selecciona insumos con menor impacto ambiental (tintas base agua, soportes reciclables). • Mantiene orden y control en el manejo de residuos evitando contaminación cruzada.	• Producto gráfico optimizado • Registro de segregación (bitácora) • Evidencia fotográfica del proceso • Exposición de decisiones técnicas	• Rúbrica de producto (eco-diseño) • Lista de cotejo de segregación • Guía de observación en taller
UC-2	• Clasifica residuos textiles según tipo de fibra y posibilidad de reciclaje. • Aplica técnicas de reutilización (retacería, subproductos textiles) con criterios de calidad. • Integra residuos al proceso productivo reduciendo desperdicio. • Justifica técnicamente la valorización en función de economía circular.	• Producto elaborado con material reciclado • Bitácora de proceso • Informe técnico de valorización • Muestra de clasificación	• Rúbrica de producto • Lista de cotejo de proceso • Rúbrica de informe técnico
UC-3	• Segrega residuos de construcción (escombros, madera, metales) conforme normativa. • Aplica procedimientos seguros de almacenamiento en obra. • Identifica materiales reutilizables y evalúa su factibilidad técnica. • Propone acciones de reducción de residuos en procesos constructivos.	• Registro de segregación en obra • Propuesta técnica de reutilización • Estudio de caso • Informe técnico	• Lista de cotejo de cumplimiento • Rúbrica de propuesta • Guía de observación
UC-4	• Clasifica residuos orgánicos e inorgánicos según normas de higiene. • Aplica procedimientos de almacenamiento evitando contaminación. • Mantiene condiciones sanitarias en el manejo de residuos. • Identifica riesgos asociados a mala gestión de residuos.	• Registro en cocina (bitácora) • Observación de práctica • Lista de verificación sanitaria	• Lista de cotejo sanitaria • Guía de observación • Rúbrica de desempeño
UC-5	• Aplica técnicas de aprovechamiento (fondos, compostaje, subproductos). • Reduce desperdicio alimentario en procesos culinarios. • Integra criterios de sostenibilidad en la producción. • Demuestra creatividad en el uso de residuos orgánicos.	• Producto culinario o compost • Bitácora de proceso • Presentación de resultados	• Rúbrica de producto • Lista de cotejo • Rúbrica de creatividad

UC-6	• Clasifica residuos industriales (metales, aceites, plásticos técnicos) correctamente. • Aplica procedimientos básicos de reciclaje o reaprovechamiento. • Maneja residuos conforme normativa y seguridad industrial. • Optimiza uso de materiales en procesos productivos.	• Registro de clasificación • Evidencia práctica • Informe técnico • Simulación de proceso	• Lista de cotejo • Rúbrica de procedimiento • Guía de observación
UC-7	• Identifica residuos peligrosos según características físico-químicas. • Aplica protocolos de seguridad y uso de EPP. • Controla derrames y emisiones según procedimiento técnico. • Cumple normativa ambiental vigente en manejo de residuos peligrosos.	• Simulación de manejo seguro • Registro de procedimiento • Informe de riesgos • Lista de verificación	• Lista de cotejo de seguridad • Rúbrica técnica • Guía de observación
UC-8	• Clasifica residuos automotrices (aceites, baterías, filtros) según peligrosidad. • Aplica procedimientos seguros de manipulación y almacenamiento. • Cumple normativa ambiental y de seguridad. • Previene contaminación por derrames o mala disposición.	• Registro de manejo • Evidencia práctica en taller • Lista de verificación • Informe técnico	• Lista de cotejo • Rúbrica de desempeño • Guía de observación
UC-9	• Diseña herramientas de registro de residuos (base de datos, formularios). • Gestiona información para seguimiento y control. • Analiza datos para toma de decisiones ambientales. • Integra criterios de sostenibilidad en soluciones tecnológicas.	• Sistema o prototipo digital • Base de datos • Reporte de análisis • Presentación técnica	• Rúbrica de producto digital • Lista de cotejo funcional • Rúbrica de análisis

Banco Mundial (2018). **Los desechos 2.0: Un panorama mundial de la gestión de residuos sólidos hasta 2050**. Washington DC. Banco Mundial.

Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS) (2007). **Empresa y medio ambiente: Producción más limpia, productividad y ambientes sanos**. Revista Virtual REDESMA, 1(1).

Convenio de Basilea (1989). **Convenio sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación**. Naciones Unidas.

Ellen MacArthur Foundation (2013). **Towards The Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition**. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an-accelerated-transition>

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. (2017). **The Circular Economy: A New Sustainability Paradigm**. *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.

Hernández Rivadeneira, M., Vera Laz, M. D. & Córdova Ponce, P. J. (2024). **Economía circular como desarrollo sostenible, reciclaje y medio ambiente**. *Journal Business Science*, 5(1), 69–85.

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) (2018). **NB 756: Gestión de residuos sólidos – Clasificación y manejo**. La Paz, Bolivia.

Ley N.º 1333 de Medio Ambiente (1992, 27 de abril). **Ley del Medio Ambiente**. La Paz: Congreso Nacional de Bolivia.

Ley N.º 755 de Gestión Integral de Residuos (2015, 28 de octubre). **Ley de Gestión Integral de Residuos**. La Paz: Asamblea Legislativa Plurinacional de Bolivia.

Medina, M. (2010). **Reciclaje informal y desarrollo sostenible en América Latina**. *Revista de Estudios Sociales*, 36, 54–65.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) (2012). **Guía de educación ambiental en gestión integral de residuos sólidos**. La Paz, Bolivia.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). (2012). **Guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos mediante compostaje y lombricultura**. La Paz, Bolivia.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) (2015). **Lineamientos para la gestión integral de residuos sólidos**. La Paz, Bolivia.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB) & Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos (DGGIRS) (2015). **Guía DESCOM-FI para la gestión integral de residuos sólidos**. La Paz, Bolivia.

Nilson, L. B. (2010). **Teaching at its Best: A Research-Based Resource for College Instructors** (3.ª ed.). Jossey-Bass.

Organización de las Naciones Unidas (2015). **Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development**. United Nations.

Organización Internacional del Trabajo (2013). **Sustainable Development, Decent Work and Green Jobs**. Geneva: ILO.

Organización Mundial de la Salud (2018). **Gestión segura de los desechos generados por la atención de salud** (2.ª ed.). Ginebra. OMS.

Organización Panamericana de la Salud (2005). **Manejo de residuos sólidos en ciudades de América Latina y el Caribe**. Washington DC. OPS.

Orjuela Yepes, D. (2013). **Estudio comparativo de normas internacionales sobre residuos peligrosos**. Nova, 11(19), 79–96.

Osorio Zamora, R. E. (2025). **Caracterización de residuos sólidos domiciliarios en Yotala, Bolivia**. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 23(33). <https://doi.org/10.56469/rcti.v23i33.1477>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2015). **Global Waste Management Outlook**. Nairobi. UNEP.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2019). **Economía circular: Innovación para el desarrollo sostenible**. UNEP.

Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero (RASIM) (2002). **Reglamento ambiental para el sector industrial manufacturero**. La Paz, Bolivia.

Sánchez-Molina, J., Sánchez-Zúñiga, J. V., & Bautista Ruiz, J. H. (2023). **Economía circular: Aprovechamiento de residuos de construcción y demolición**. Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander.

Tchobanoglous, G., Theisen, H. & Vigil, S. (1994). **Gestión integral de residuos sólidos: Principios de ingeniería y administración**. Madrid. McGraw-Hill.

Tello Espinoza, P., & Fernández Villagómez, G. (2012). **Evaluación de lixiviados en residuos sólidos urbanos**. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28 (Supl. 1).

Camargo Rodríguez, S., Franco López, J. A., Chud Pantoja, V. L., & Osorio Gómez, J. C. (2017). **Modelo de simulación dinámica para evaluar el impacto ambiental de la producción y logística inversa de las llantas**. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(2). Barranquilla, Colombia

Marcelino Aranda, M., Macías Alcívar, A., Martínez-Rodríguez, M. C. & Camacho, A. D. (2022). **La economía circular como alternativa hacia un nuevo modelo para la actividad industrial sustentable**. *Tecnológico de Costa Rica Tecnología en Marcha*, 35(3). <https://doi.org/10.18845/tm.v35i3.5599>

Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1994). **Gestión integral de residuos sólidos** (Vol. 1). McGraw-Hill.

Vargas Leyva, M. R. (2008). **Diseño curricular por competencias**. Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería (ANFEI).

Vera-Acevedo, L. D., & Raufflet, E. (2022). **Análisis de la Estrategia Nacional de Economía Circular de Colombia a partir de dos modelos**. *Universidad de Antioquia Estudios Políticos*, 64. <https://doi.org/10.17533/udea.espo.n64a02>

ANEXO 1

Procesos prácticos de la Unidad 2

Ejemplos herramientas para implementación del Programa de Aprovechamiento de Residuos

	DIAGNOSTICO	Nro. Rev.:01	Código:
	GENERACIÓN DE RESIDUOS	Página:	

1. INTRODUCCIÓN

El manejo inadecuado de los residuos genera diversos impactos ambientales negativos que se evidencian en las diferentes etapas de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos; las consecuencias de estos impactos no sólo afectan a la salud humana sino también a la atmósfera, el suelo y las aguas superficiales y subterráneas. A todo esto, se suma el deterioro del paisaje natural y de los centros urbanos.

Este programa define los contenidos básicos exigidos por la normativa vigente y constituye una herramienta de apoyo para las empresas generadoras, las instituciones interesadas en la gestión ambiental y la comunidad en general. Su aplicación contribuye a promover condiciones ambientales adecuadas y saludables, optimizar el uso de los recursos y favorecer el cumplimiento de los objetivos institucionales en materia de gestión ambiental.

La Gestión de Residuos Sólidos es un trabajo integral para dar cumplimiento a los reglamentos que establecen las obligaciones, las responsabilidades y los beneficios de una adecuada disposición de los residuos sólidos. Para ello, el marco normativo se estructura en disposiciones de alcance nacional, departamental y municipal, así como en regulaciones específicas aplicables a sectores como el industrial, comercial y de servicios.

Las unidades deben tener la información adecuada de la generación de residuos para realizar una gestión responsable, dando cumplimiento a los reglamentos establecidos.

2. OBJETIVOS

Objetivo general:

Diseño e implementación de un programa de aprovechamiento de residuos sólidos en el Instituto Tecnológico Ayacucho.

Objetivos específicos:

- Realizar el diagnóstico sobre la generación de residuos.
- Formular y desarrollar estrategias como parte del Programa de Aprovechamiento de Residuos en el Instituto Tecnológico Ayacucho.

	DIAGNOSTICO	Nro. Rev.:01	Código:
	GENERACION DE RESIDUOS	Pagina:	

3 ALCANCE

El programa de aprovechamiento para residuos tiene el alcance de las carreras técnicas Mecánica Automotriz, Mecánica Industrial, Sistemas Informáticos, Electrónica, Electromecánica, Construcción Civil y las áreas administrativas.

4 MARCO TEÓRICO

Residuos solidos

Los residuos sólidos se definen como los materiales generados en las actividades de producción y consumo que, en el contexto en el que se originan, carecen de valor económico. Esto puede deberse a la falta de tecnologías adecuadas para su aprovechamiento o a la inexistencia de un mercado para los productos recuperados.

Aunque la Política Nacional de Residuos Sólidos constituye el principal referente que establece las bases para el aprovechamiento de los residuos en el país, en la práctica esta actividad se ha desarrollado desde mucho antes de la implementación de dicha política. El aprovechamiento tuvo sus orígenes en las actividades de reciclaje realizadas durante décadas por grupos sociales con características particulares, hoy reconocidos como recicladores de oficio.

Aprovechamiento de residuos solidos

La reutilización y el aprovechamiento de los residuos sólidos en Bolivia surgieron con el crecimiento de las principales urbes durante la década de 1950. Este proceso estuvo asociado principalmente al aumento de la migración campesina hacia las ciudades, al surgimiento de actividades industriales de mayor escala, a la evolución de una incipiente cultura de consumo y desecho y, finalmente, a la aparición del problema público de los

residuos. Como respuesta surgieron las primeras soluciones institucionales, consistentes en sistemas permanentes de transporte y disposición de residuos en vertederos a cielo abierto. Estos vertederos se convirtieron en lugares de asentamiento y en fuentes de materiales reciclables para numerosas familias en situación de pobreza, nuevos inmigrantes sin alternativas laborales y personas desempleadas.

Programa de aprovechamiento de residuos

El programa de aprovechamiento de residuos es un conjunto organizado de acciones, estrategias y procedimientos orientados a recuperar, reutilizar o valorizar los residuos sólidos con el fin de reducir la cantidad que se dispone en vertederos y promover la economía circular.

Diagnóstico de generación de residuos

El diagnóstico de generación de residuos consiste en un proceso de análisis y evaluación que permite identificar, cuantificar y caracterizar los residuos que se generan en una organización, comunidad, industria o territorio determinado. Su objetivo principal es conocer el tipo, cantidad, origen y destino de los residuos, para diseñar estrategias adecuadas de gestión integral y aprovechamiento.

Estrategias para el programa de aprovechamiento de residuos

Fortalecer la gestión integral de los residuos sólidos mediante la implementación de estrategias orientadas a su reducción, reutilización, reciclaje y valorización, con el propósito de incrementar los niveles de aprovechamiento, disminuir la cantidad de residuos dispuestos en rellenos sanitarios y promover prácticas sostenibles que contribuyan a la economía circular y a la protección del medio ambiente.

INSTITUTO TECNOLÓGICO AYACUCHO

El Instituto Tecnológico Superior Ayacucho -ubicado en la avenida Busch y calle General Monje en el municipio de La Paz departamento de La Paz- ofrece dentro de su proceso de formación las carreras técnicas de:

- Mecánica Automotriz
- Mecánica Industrial
- Sistemas Informáticos
- Electromecánica
- Electrónica
- Construcción Civil

Dentro de las carreras técnicas, además de las actividades académicas teóricas, las prácticas constituyen una parte esencial del proceso formativo en el Tecnológico. A través de ellas los estudiantes tienen la oportunidad de desarrollar experiencias prácticas *in situ en laboratorios totalmente equipados y adecuados para cada una de las especialidades que se imparten*.

En el desarrollo de las actividades prácticas, los estudiantes emplean diversos materiales según las exigencias de cada asignatura. En este contexto, se generan residuos como resultado de dichas prácticas, los cuales requieren una gestión adecuada para minimizar su impacto ambiental y promover su aprovechamiento.

De acuerdo con la población estudiantil del Instituto, tanto en el turno de la mañana como en el de la tarde, se genera una cantidad adicional de residuos provenientes del consumo de refrigerios y alimentos, los cuales también deben ser considerados dentro del manejo integral de los residuos sólidos.

5 ESTADO DE RESULTADOS

En el marco del programa de aprovechamiento de residuos, las estrategias se implementarán mediante las siguientes acciones:

- Prevención y minimización en la fuente
- Separación en la fuente y recolección selectiva
- Fomento del reciclaje y la valorización
- Reutilización y reparación
- Aprovechamiento orgánico
- Educación, sensibilización y participación estudiantil
- Gestión institucional y normativa
- Monitoreo, seguimiento y mejora continua

6. DIAGNÓSTICO SOBRE RESIDUOS

6.1. Generación de residuos

De acuerdo con el levantamiento de información sobre la generación de residuos en el instituto, se realizó un diagnóstico que comprendió las siguientes actividades:

- a) Identificación de los residuos por áreas prácticas y en general.
- b) Datos de la cuantificación de residuos.
- c) Caracterización de los residuos de acuerdo a la norma boliviana NB 758.

Identificación de los residuos

Los residuos fueron identificados de acuerdo a las áreas de intervención:

Tabla 44: Identificación de residuos

Carrera	Residuos generados
Mecánica automotriz	Chatarra metálica
	Aceites lubricantes desuso
	Trapos empetrolados
	Residuos comunes
Mecánica industrial	Virutas de acero
	Virutas de aluminio
	Escorias
	Residuos comunes
	Chatarra metálica
Sistemas informáticos	Residuos aparatos eléctricos electrónicos
	Tomacorrientes quemados
	Cables
	Residuos comunes
Electromecánica	Cables
	Pilas
	Baterías
	Residuos comunes
Electrónica	Componentes, placas
	Circuitos
	Pilas y baterías
	Residuos comunes
Construcción civil	Restos de grava
	Restos de arena
	Escombros
	Envases de aditivos
	Probetas de laboratorios
	Residuos comunes
Área administrativa	Papel
	Cartón
	Residuos comunes

Caracterización cualitativa de los residuos

De acuerdo con la Ley N° 755 de Gestión Integral de Residuos Sólidos, la caracterización de los residuos sólidos consiste en determinar las características cualitativas y cuantitativas de un residuo sólido, identificando contenidos y propiedades de interés con una finalidad específica.

En general, los residuos generados por el Instituto Tecnológico Ayacucho se han clasificado de acuerdo al tipo de materiales, si son reciclables o no. A continuación, en la tabla N°2 se muestran los tipos de plásticos encontrados:

Tabla 45: Matriz de caracterización de residuos

N°	Fuente de generación	Tipo de residuo	Código	Peligrosos						No peligrosos			Especiales
				Corrosivo (8)	Reactivo (4.3)(5.1)(5.2)	Explosivo (1)	Toxico (9)(6.1)	Inflamable (3)(4.1)	Patogenicidad (6.2)	Orgánico	Reciclable	No aprovechable	
1	Mecanica industrial	Residuos metalicos	B1110										X
2		Escorias que salen de fundicion	B1210										
3		Aceites lubricantes	A4060					X					
4		Liquididos (gasolina, diesel)	A4060					X					
5		Grasas	B3065		X								
6	Mecanica automotriz	Polvos macilla	B3100	X									
7		Chatarra metalica	B1110										X
8		Trapos empetrolados	A4060				X			X			
9		Envases de tinner	170204				X						
10		Residuos metalicos	B1110										X
11		Cables de fibra	B1115	X								X	
12		Restos de cinta aislante	B1115										
13		Fibras de vidrio	B2020									X	
14		Cobre	B1010										X
15		Carcasa de equipos electronicos	200135										X
16		Restos metalicos	A1010										X
17		Cables	B1115	X									
18		Motores (cobre y aluminio)	B1010										X
19		Papel	B3020								X		
20		Pilas	B1090				X						
21	Electronica	Baterias	B1090				X						
22		Trapos con tinner, gasolina	B3030				X						
23		Plasticos de los cables	B1115	X									
24		Interruptores	B3010	X									
25		Focos	A2010			X							
26		Carton	B3020								X		
27		Venesta	B3050							X			
30	Construccion civil	Escombros											X
31	Sistemas informaticos	Residuos de aparatos electronicos electronicos											X

Fuente: Programa CIERVA. Adaptada con Ley 755 y NB 758

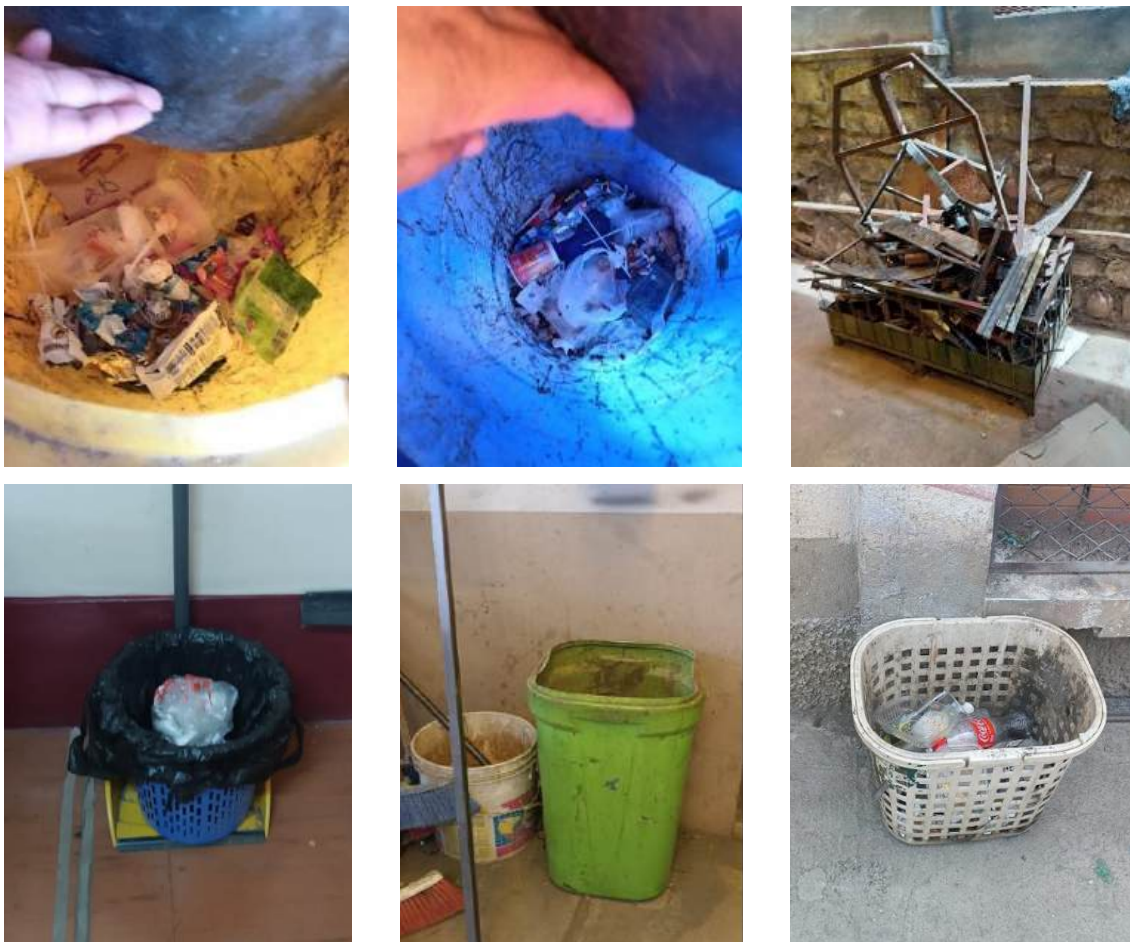
6.2. Almacenamiento y acopio de residuos

En la actualidad el Instituto Tecnológico Ayacucho cuenta con los siguientes medios para el almacenamiento de residuos:

- Basureros para los residuos de colores verde, amarillo y azul.
- Contenedor para botellas PET.
- Tambores de aceites en desuso del área de metal mecánica.

a) Basureros para los residuos en general

Los contenedores instalados en las diferentes áreas no cumplen con el código de colores establecido para la adecuada clasificación de los residuos. Como consecuencia, se observa la mezcla de distintos tipos de residuos, lo que genera contaminación cruzada. A continuación, se muestra el estado de los contenedores.



Basureros instalados en las diferentes áreas.

En el proceso de identificación de los residuos generados en el Instituto, se determinó que en la carrera de Mecánica Automotriz se produce aceite lubricante en desuso. Este residuo es almacenado de manera temporal y no cuenta con la señalización correspondiente.

b) Contenedores de almacenamiento de residuos

En el marco de las iniciativas de gestión de residuos, el Instituto implementó contenedores de tres colores (verde, amarillo y azul). Sin embargo, se verificó que estos están siendo utilizados para la disposición de residuos urbanos, mezclando todos los tipos de residuos con la basura común.



Ubicado al ingreso al Instituto.



Ubicados en el primer piso.

6.3. Estrategias para el programa de aprovechamiento de residuos

La implementación del programa de aprovechamiento de residuos se desarrollará mediante las siguientes estrategias:

1. Prevención y minimización en la fuente

- Promover prácticas de producción más limpia y consumo responsable.
- Implementar medidas para reducir el volumen y la peligrosidad de los residuos desde su generación.

2. Separación en la fuente y recolección selectiva

- Establecer puntos de segregación en origen (orgánicos, reciclables, no aprovechables, peligrosos).
- Capacitar al personal docente y estudiantil sobre la correcta clasificación.

3. Fomento del reciclaje y la valorización

- Crear alianzas con recicladores, asociaciones o empresas recicladoras.
- Impulsar el uso de residuos como materia prima para nuevos procesos productivos.

4. Reutilización y reparación

- Promover la reutilización de materiales y envases en buen estado.
- Motivar las iniciativas de proyectos de grado con el reuso de materiales.

5. Aprovechamiento orgánico

- Fomentar la separación y tratamiento de residuos orgánicos para la producción de compost o biogás.

6. Educación, sensibilización y participación docente - estudiantil

- Desarrollar programas de educación ambiental continua.
- Implementar campañas de sensibilización sobre reducción, reciclaje y consumo responsable.

7 PROGRAMA DE APROVECHAMIENTO

De acuerdo con las estrategias definidas para la gestión de residuos, el programa de aprovechamiento se orienta a la implementación gradual de acciones, proyectos y actividades destinados a mejorar la gestión de los residuos plásticos. Su ejecución se desarrollará mediante un proceso participativo que involucre a toda la comunidad docente y estudiantil, con el propósito de fortalecer el aprovechamiento de los residuos y promover una cultura de responsabilidad ambiental.

PROYECTO 1:

Sensibilización y capacitación al plantel docente y estudiantil sobre la gestión adecuada de residuos

	PROYECTO	Nro. Rev.:01	Código:
	IMPLEMENTACIÓN PUNTOS DE ACOPIO	Página:	

1. Objetivos

Objetivo General:

- Concienciar acerca del riesgo que representa el manejo inadecuado de residuos dentro el Instituto Tecnológico Ayacucho.

Objetivos Específicos:

- Capacitar al plantel docente y estudiantil en la correcta separación en fuente de los residuos.
- Sensibilizar al plantel docente y estudiantil para la correcta disposición de residuos en los contenedores diferenciados.

2. Descripción del problema

La importancia de la separación en la fuente es el primer paso la reducir la cantidad de residuos que se genera en el Instituto.

3. Alcance y resultados esperados

Capacitar al 100% del plantel docente – estudiantil para la correcta separación de los residuos en la fuente, de acuerdo con las actividades desarrolladas en cada área.

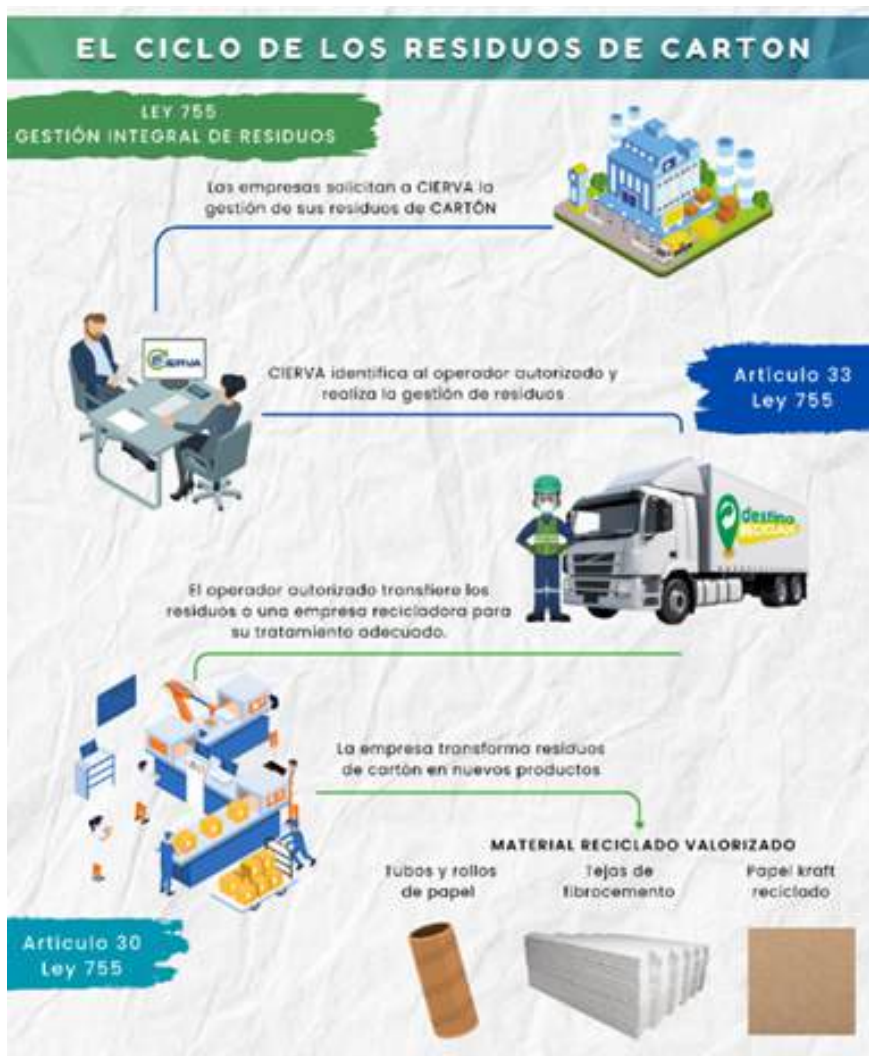
Sensibilizar a toda la comunidad docente y estudiantil sobre la adecuada gestión y disposición de los residuos mediante campañas de educación ambiental, folletos informativos y otros medios de comunicación institucional.

4. Actividades

- Definir los temas de capacitación:
 - Reducción, reutilización y reciclaje de residuos.
 - Separación en la fuente, en el área de actividades curriculares.
 - Identificación y clasificación.
 - Ubicación de sitio de almacenamiento o punto de acopio de residuos.

- Realizar los talleres de capacitación para los estudiantes y docentes, con los temas definidos, con una duración de 30 minutos aproximadamente.
- Diseñar folletos de sensibilización que contengan los materiales que contribuyan a la separación de residuos adecuados.

Figura 45: Ejemplos de folletos



Fuente: Programa CIERVA - ICAM.

- En la instalación del punto de acopio de residuos, incluir al plantel docente y estudiantil para que se haga conocer el funcionamiento del mismo.
- Realizar una retroalimentación anual para evaluar el proceso de la gestión de residuos.

PROYECTO 2:

Implementación de un punto de acopio en el Instituto Tecnológico Ayacucho

	PROYECTO	Nro. Rev.:01	Código:
	GESTIÓN CON OPERADORES AUTORIZADOS	Página:	

1 Evaluación de los residuos generados

De acuerdo al diagnóstico de residuos que genera el Instituto, se logró identificar los tipos, cantidad y la frecuencia con la que se generan según sus actividades.

2. Objetivos

Objetivo general:

- Implementación de un punto de acopio y contenedores para el almacenamiento adecuado de los residuos generados por el Instituto.

Objetivos específicos:

- Ubicación del lugar para el punto de acopio.
- Socialización con el plantel docente y estudiantil de la ubicación de los contenedores.
- Gestión de contenedores para residuos de acuerdo a lo generado, con sus respectivos logos y señalización.

3 Descripción del problema

El Instituto genera residuos en las áreas administrativas, áreas comunes, aulas y talleres; sin embargo, estos no son clasificados adecuadamente, por lo que se mezclan y generan contaminación cruzada. En respuesta a esta situación, se plantea la implementación de un punto de acopio general para el almacenamiento temporal de los residuos, así como la instalación de contenedores diferenciados en las distintas áreas de trabajo, con el fin de facilitar su adecuada separación y manejo.

4 Actividades

Elección del espacio

El Instituto, según los datos que se recolectaron en el diagnóstico de evaluación, generan residuos no peligrosos, peligros y especiales. El punto de acopio temporal de los residuos estará definido por el Instituto un lugar donde el acceso sea adecuado, cumpliendo las condiciones de acopio sin dañar los residuos para su correcta gestión.

Los contenedores de colores deben ser controlados para que los mismo no sean utilizados de forma inadecuada y no exista la contaminación cruzada.

Infraestructura

Los contenedores que estén instalados en el punto de acopio deben ser señalizados. El punto de acopio debe ser visible y los contenedores, accesibles para que los trabajadores pueden colocar los residuos correspondientes.

Formación y concientización

Es fundamental capacitar y concienciar sobre la importancia del reciclaje y cómo utilizar correctamente el punto de acopio. Para esto, el Instituto debe convocar a una capacitación para incentivar al personal sobre el uso correcto de los contenedores que se van a implementar y también sobre el adecuado aprovechamiento de los residuos plásticos que se generan.

5 Implementación de contenedores

De acuerdo a la identificación de residuos en el Instituto Tecnológico Ayacucho, la implementación de contenedores será:

Tabla 46. Contenedores diferenciados

Residuo	Contenedor	Ubicación	Señalización	Capacidad	Cantidad
Papel y cartón	Color azul	Oficinas de administración	Señalización	50 Lt.	4
Plásticos Botellas PET	Azul	Puerta de ingreso al Instituto	señalización		
Bolsas de polietileno	Amarillo		Señalización		1
Metálicos	Plomo	Taller de metal mecánica Taller de mecánica industrial	Señalización	200 Lt.	2
Orgánicos	Verde	Áreas comunes	Requiere / en el mismo basurero		1
Residuos no aprovechables	Negro	Todas las áreas de talleres	Requiere/en el mismo basurero	50 Lt.	6
Aceites usados	negro	Punto de acopio de aceites	Falta Señalización Kits antiderrames	200 Lt.	1
Residuos electrónicos placas	Plomo	Taller de electrónica	Señalización	Definir tamaño	1
Pilas		Taller de electrónica Sistemas	Señalización		2

Los colores fueron definidos en base a la normativa vigente la NB 756: Residuos sólidos - contenedores/ recipientes para almacenamiento de residuos sólidos domésticos y asimilables a domésticos - Requisitos.



PROYECTO 3:

Convenio con un operador autorizado

	PROYECTO	Nro. Rev.:01	Código:
	GESTIÓN CON OPERADORES AUTORIZADOS	Página:	

1. Objetivos

Objetivo general:

Realizar un convenio con un operador autorizado que brinde el servicio de gestión de residuos.

Objetivos específicos:

- Realizar el control de la generación de residuos que deben ser entregados a operadores autorizados.
- Implementación de buenas prácticas.

2. Descripción del problema

Debido a la variada generación de residuos, el Instituto decidió optar por realizar convenios con operadores autorizados para destinar sus residuos, cumpliendo con la debida reglamentación y la Ley 755.

3. Actividades

Convenio con operadores autorizados

Una vez que se han separado y almacenado los residuos en el punto limpio, es necesario contratar a gestores autorizados para su correcta gestión. Estos operadores se encargarán de recoger los residuos y llevarlos a las instalaciones adecuadas para su tratamiento y reciclaje.

Seguimiento y control de la gestión de residuos

Es fundamental llevar a cabo un seguimiento y control de la gestión de los residuos generados en el Instituto. Esto implica mantener un registro de los residuos recogidos, los operadores que los recogen y el destino final de los mismos.

Lista de operadores

De acuerdo a los residuos que se generan, el instituto requiere tener el contacto y convenio con operadores de los siguientes residuos:

Tabla 47. Operadores para la gestión de residuos

Nro.	Residuo	Operador
1	Papel y Cartón	Sí
2	Botellas PET	Sí
3	Chatarra metálica	Sí
4	Escombros	Sí
5	Residuos peligrosos (envases de tinner y gasolina)	Sí
6	Residuos electrónicos	Sí

	GUÍA PRÁCTICA	Código:
	MANEJO Y GESTIÓN DE ACEITES Y GASES	Nº de revisión:
		Fecha de emisión:

PROYECTO:

Manejo y gestión de aceites y gases

1. Objetivo

Establecer procedimientos para la gestión integral de aceites y grasas usadas de cocina, desde su generación hasta su disposición final o aprovechamiento.

2. Alcance

Este procedimiento se aplica a todas las áreas donde se desarrollan las prácticas de elaboración de alimentos y/o donde se generan aceites y grasas usadas.

3. Responsables

Dentro las responsabilidades se definen:

Dirección académica:

- Aprobar el procedimiento gestión de residuos

Plantel docente y estudiantil

- Implementar las acciones de manera práctica.
- Verificar el cumplimiento de la Guía.

4. Definiciones

Residuo: Cualquier tipo de productos residuales, restos o basura originados por personas naturales o jurídicas, públicas o privadas. Pueden ser sólidos o semisólidos, putrescibles o no putrescibles.

Residuos peligrosos: Son aquellos desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan algún compuesto que tenga características reactivas, inflamables, corrosivas, infecciosas, o tóxicas, que representen un riesgo para la salud humana, los recursos naturales y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales vigentes.

Residuos no peligrosos: Residuos que no presentan características peligrosas para los seres vivos, el equilibrio ecológico o el ambiente.

Residuo de aparato eléctrico y electrónico: Aparatos eléctricos y electrónicos, y cualquier material que los componga.

Operador autorizado: Es toda persona natural o jurídica de carácter público o privado que realice servicios de recolección, transporte, tratamiento o disposición final de residuos.

Reutilización: El empleo de un producto usado para el mismo fin para el que fue diseñado originalmente.

Transporte: Cualquier movimiento de desechos a través de cualquier medio de transportación.

Tratamiento: Acción de transformar los desechos por medio de la cual se cambian sus características.

Valorización: Todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar los métodos que puedan causar perjuicios al medio ambiente.

Disposición Final: Es el proceso de aislar y confinar los residuos o desechos peligrosos, en especial los no aprovechables, en lugares especialmente seleccionados, diseñados y debidamente autorizados, para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente.

Gestión Integral: Conjunto articulado e interrelacionado de acciones de política, normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de evaluación, seguimiento y monitoreo desde la prevención de la generación hasta la disposición final de los residuos o desechos peligrosos, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.

Aprovechamiento y/o Valorización: Es el proceso de recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos o desechos peligrosos, por medio de la recuperación, el reciclado o la regeneración.

Manejo Integral: Es la adopción de todas las medidas necesarias en las actividades de prevención, reducción y separación en la fuente, acopio, almacenamiento, transporte, aprovechamiento y/o valorización, tratamiento y/o disposición final, importación y exportación de residuos o desechos peligrosos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada para proteger la salud humana y el ambiente contra los efectos nocivos temporales y/o permanentes que puedan derivarse de tales residuos o desechos.

Contaminación Ambiental: es la introducción de contaminantes a un medio natural que provocan en este un cambio adverso. El medio puede ser un ecosistema, un medio físico o un ser vivo. El contaminante puede ser una sustancia química o energía (como sonido, calor, luz o radiactividad). Es siempre una alteración negativa del estado natural del medio y, por lo general, se genera como consecuencia de la actividad humana considerándose una forma de impacto ambiental.

Riesgo: Probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo ocasionen efectos adversos en la salud humana y/o al ambiente.

Acopio: Acción tendiente a reunir productos desechados o descartados por el consumidor al final de su vida útil y que están sujetos a planes de gestión de devolución de productos post consumo, en un lugar acondicionado para tal fin, de manera segura y ambientalmente adecuada, a fin de facilitar su recolección y posterior manejo integral. El lugar donde se desarrolla esta actividad se denominará centro de acopio.

Residuos de aceites y grasas: Se refiere a todos aquellos desechos líquidos o semisólidos de origen orgánico o mineral que provienen principalmente del uso doméstico, industrial o comercial de aceites y grasas

Operador autorizado: Toda persona natural o jurídica de carácter público o privado que realice servicios de recolección, transporte, tratamiento o disposición final de residuos.

5. Marco legal

- Ley N° 755 / 2015 – Gestión Integral de residuos.
- Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos en el marco de la Ley N° 1333 de Medio Ambiente.
- Decreto Supremo 2954/2015 – Reglamento General de la ley 755.

6. Cumplimiento Normativo

Toda persona natural o jurídica tiene las siguientes obligaciones:

- a) Cumplir con las disposiciones regulatorias y reglamentarias vigentes para la gestión adecuada de los residuos.
- b) Reducir la generación de residuos en cantidad y peligrosidad.
- c) Separar en origen los residuos.
- d) Depositar los residuos en sitios autorizados.
- e) Realizar el manejo adecuado de los residuos que genere, a través de operadores autorizados o por cuenta propia.

Toda persona natural o jurídica, pública o privada, que genere residuos sólidos o realice actividades relacionadas con la gestión integral de residuos sólidos, estará sujeta a la

aplicación del Reglamento Departamental de Gestión Integral de Residuos Sólidos (Art. 3, Decreto Departamental N.º 4715).

Se permite la transferencia de residuos por parte de los generadores a recicladores o recuperadores que cuenten con registros, autorizaciones para realizar estas actividades conforme a la norma reglamentaria (Reglamento de GIRS del GADC Art. 33, II).

Los recicladores o recuperadores son personas naturales o jurídicas dedicadas a la recuperación de los residuos a través de la separación, almacenamiento, recolección o transporte para su aprovechamiento (Ley 755, Art. 18).

Toda persona natural o jurídica, de carácter público o privado, que realice cualquiera de las etapas de la gestión operativa (recojo, transporte, almacenamiento, tratamiento o disposición final) deberá contar con registros y autorizaciones que corresponda, ante la autoridad competente (Ley 755, Art. 32).

Los operadores autorizados deberán presentar y mantener la información correspondiente de tal forma que permitan verificar el cumplimiento de las etapas de la gestión operativa de los residuos, desde su almacenamiento hasta su tratamiento o disposición final (DS 2954, Art. 83).

6.1. Impactos ambientales

Los impactos potenciales derivados de los aceites y grasas, a efectos de su adecuada atención y gestión, se sistematizan en la siguiente matriz:

Actividad / Fuente	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Impacto en la Salud	Tipo de Impacto	Medidas de Control / Mitigación
Vertido de aceites en el fregadero	Contaminación del agua	Formación de películas en ríos que reducen oxígeno (afecta flora y fauna acuática).	Proliferación de bacterias y malos olores.	Negativo, directo	Recolección en envases y entrega a operadores autorizados.
Descarga en sistemas de alcantarillado	Obstrucción de tuberías	Formación de “tapones de grasa” (fatbergs) y colapso del sistema.	Riesgo sanitario por aguas residuales estancadas.	Negativo, directo	Instalación de trampas de grasa y mantenimiento periódico.
Disposición en suelos	Contaminación del suelo	Reducción de la permeabilidad y alteración de microorganismos.	Posible contacto con sustancias tóxicas.	Negativo, acumulativo	Evitar vertido; reutilización o disposición adecuada.
Quema inadecuada de aceites	Emisión de gases contaminantes	Liberación de humo tóxico y compuestos peligrosos.	Problemas respiratorios, irritación ocular.	Negativo, directo	Prohibir quema; promover reciclaje (biodiésel).
Reutilización excesiva en cocina	Degradación del aceite	Generación de compuestos tóxicos (aldehídos, acrilamidas).	Enfermedades gastrointestinales, riesgo cancerígeno.	Negativo, directo	Control de uso y cambio periódico de aceite.
Disposición en residuos sólidos comunes	Contaminación de lixiviados	Dificulta tratamiento de residuos y contamina agua subterránea.	Riesgos indirectos por contaminación del agua.	Negativo, indirecto	Separación en origen y gestión diferenciada.
Manejo informal sin protección	Exposición directa	Contacto con sustancias degradadas.	Irritación dérmica, riesgos a la salud ocupacional.	Negativo, directo	Uso de EPP (guantes, gafas) y capacitación.

7. Proceso de las Gestión Residuos de aceites y grasas

Etapa del proceso	Actividad	Medidas de manejo	Responsable	Registro
Generación de Aceites y Grasas ↓ Segregación ↓ Enfriamiento de los Aceites ↓ Filtrado ↓ Almacenamiento	Fritura de alimentos	No verter al drenaje	Personal de cocina	Bitácora de producción
	Separación del aceite	Usar recipiente exclusivo	Personal de cocina	Lista de control
	Reposo del aceite	Dejar enfriar antes de manipular	Personal de cocina	Registro interno
	Retiro de residuos sólidos	Filtrar con colador	Personal de cocina	Registro de limpieza
	Guardado en envases	Envases cerrados y etiquetados	Encargado	Control de almacenamiento

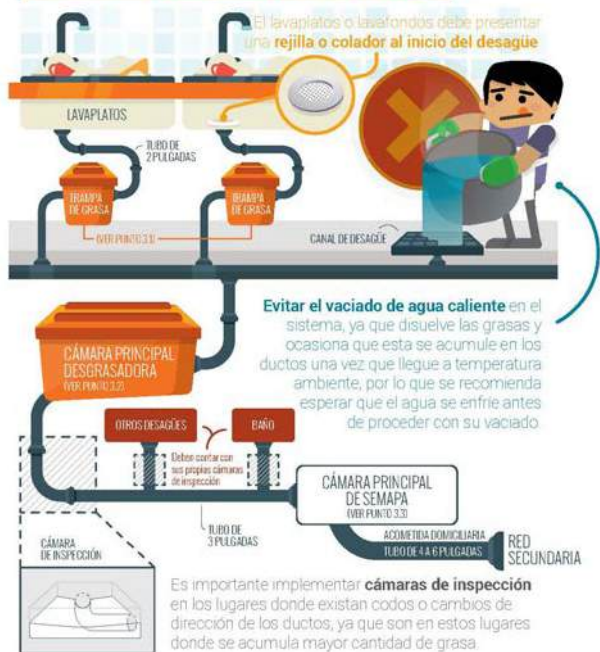
8. Gestión de los aceites y grasas

Etapa del proceso	Actividad	Medidas de manejo	Responsable	Registro
Almacenamiento temporal ↓ Recolección ↓ Transporte ↓ Disposición final	Almacenar en un lugar adecuado donde no exista derrames y rebalses por aguas de lluvia.	Envases cerrados y señalizados	Encargados de área	Registro de almacenamiento
	Entrega al Operador autorizado.	Coordinar con recolector autorizado	Administración	Acta de entrega
	Traslado externo.	Envases seguros	Operador autorizado	Guía de transporte
	Reciclaje.	Producción de biodiésel/jabón	Operador autorizado	Certificado de Trazabilidad
	Guardado en envases	Envases cerrados y etiquetados	Encargado	Control de almacenamiento

9. Medidas preventivas

La evitar el colapso de los alcantarillados, el Manual Sanitario para el funcionamiento de restaurantes y ramas afines define implementar medidas preventivas, de acuerdo a los siguientes esquemas:

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA SANITARIO PARA RESTAURANTES

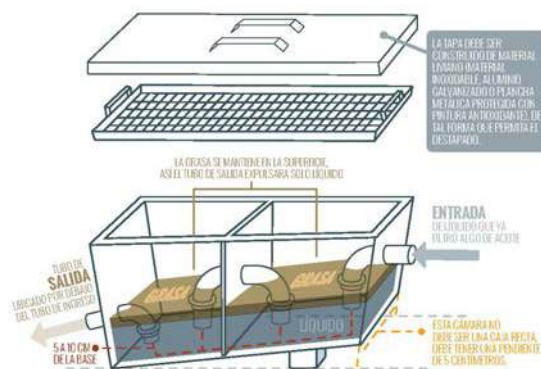


Fuente: Proyecto Ecovecindarios – Swisscontact.

3.2 CÁMARA DESGRASADORA DE INSPECCIÓN PRINCIPAL

La cámara desgrasadora de inspección principal es la cámara a la cual está conectada, todas las tuberías de las trampas de grasas y el canal de desagüe de cocina, la cual es una rejilla que evita el ingreso de sólidos grasos al canal de desagüe, es decir que esta cámara solo presenta una tubería de entrada.

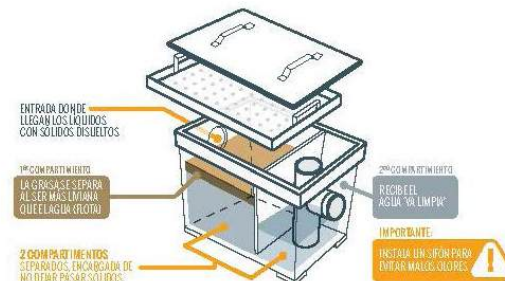
La cámara en su interior puede ser de un solo cuerpo o dividida por la mitad por medio de una pared, la cual tiene tuberías de conexión entre ambos lados. Por la tubería de entrada, ingresa todo el líquido que ya filtro algo de aceite, llega a un cierto nivel y pasa al otro compartimiento, para posteriormente salir, es importante que la tubería de salida se encuentre por debajo del tubo de ingreso, de tal forma que la grasa se mantenga en la superficie, así el tubo de salida expulsará solo líquido. La boca de la tubería de salida debe encontrarse de 5 a 10 centímetros de la base.



Fuente: Proyecto Ecovecindarios – Swisscontact.

3.1 TRAMPA DE GRASA

Las trampas de grasa consisten en un sistema mecánico que, mediante una serie de compartimentos especiales en un tanque, separa del agua aquellos residuos sólidos y restos de grasa, evitando que avancen por el sistema de cañería y desagüe. De esta forma se mantiene una circulación fluida sin obstrucciones, impidiendo la acumulación de sustancias indeseadas. Así las aguas vertidas pueden proseguir con seguridad hacia los sistemas de evacuación y tratamiento.



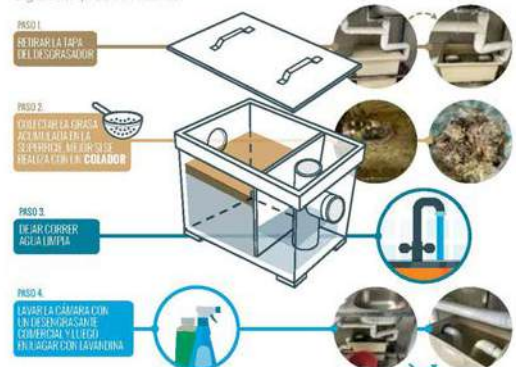
Una trampa retiene por sedimentación los sólidos en suspensión y por flotación, el material graso. La trampa de grasas tiene 2 compartimentos, ambos separados, encargada de no dejar pasar sólidos. En el compartimento más grande, por donde llegan los líquidos con sólidos disueltos, la grasa se separa al ser más liviana que el agua. Por el otro compartimento, va a salir el agua ya limpia. Es muy importante que el desagüe posterior a la trampa tenga un sifón para evitar malos olores dentro del local.

Fuente: Proyecto Ecovecindarios – Swisscontact.

4.1 MANTENIMIENTO TRAMPA DE GRASA

Una trampa de grasas es una cámara especial que se utiliza para separar los residuos sólidos y las grasas que bajan por el desagüe del lavaplatos, previo a la red de alcantarillado, generalmente lo usan en restaurantes y plazas de comidas.

Para el mantenimiento y limpieza de una trampa de grasa se tiene el siguiente procedimiento:



FRECUENCIA DE LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO			
TIPO DE UNIDAD PRODUCTIVA	FRECUENCIA	TRAMPAS DE GRASA	DESGRASADORES Y DUCTOS
Broasterías, pollos fritos.		cada 4 días	cada 15 días
Restaurantes de comida rápida		cada 5 días	cada 20 días
Restaurantes populares (Charques, Sillpancherías, frituras)		cada 5 días	cada 15 días
Restaurantes varios (pensiones, snacks)		cada 7 días	cada 20 días
Plazas de comida		cada 10 días	cada 30 días
Hoteles		cada 7 días	cada 30 días

Fuente: Proyecto Ecovecindarios – Swisscontact.

10. Bibliografía

Proyecto Ecovecindarios, & Swisscontact. (2018). Manual sanitario para el funcionamiento de restaurantes y ramas afines. https://www.semapa.gob.bo/resources/plugins/tiny_mce/plugins/filemanager/source/Medio%20Ambiente/manualMA.pdf

ANEXO 2

Procesos prácticos de la Unidad 3 Guía de complementación curricular sobre Compostaje

Proceso práctico N° 1

1. Identificación del Proyecto Integrador

Denominación	Proyecto Integrador de Aula N° 1: Compostaje aerobio de residuos orgánicos
Unidad temática de inserción	UT-3: Valorización y aprovechamiento de residuos
Unidades de competencia vinculadas	UCB-2: Valorización UC-4 y UC-5: Gastronomía UC-3: Construcción Civil complementaria UCB-5: Innovación y Emprendimiento
Carga horaria sugerida	32 horas pedagógicas distribuidas en: 8 h de teoría, 8 h de diseño y montaje, 12 h de operación y seguimiento y 4 h de evaluación
Modalidad	El Proyecto Integrador incluye: práctica de taller, trabajo en equipos de 3 a 5 estudiantes, seguimiento longitudinal de la pila durante 8 a 12 semanas
Nivel de competencia	Nivel 2: Aplicación (intervención técnica operativa)

2. Objetivos de aprendizaje

Los objetivos de aprendizaje se formulan en términos de resultados de aprendizaje observables y evaluables, distinguiendo las tres dimensiones competenciales: saber (conocimiento conceptual), saber hacer (habilidad procedimental) y saber ser (actitud y valor).

2.1. Objetivo general

Objetivo general del Proyecto Integrador

A la conclusión del mismo, las y los estudiantes serán capaces de:

- **Diseñar, operar y evaluar** un proceso de compostaje aerobio a escala de taller, mediante el control de las variables operativas críticas (tales como la relación C/N, la humedad, la temperatura y la aireación), así como la aplicación de balances de materia simplificados para estimar los rendimientos del sistema.
- **Asegurar** la calidad del producto final, observando rigurosamente los criterios de seguridad operacional pertinentes.
- **Valorar** el aporte del proceso a la economía circular y a la salud ambiental de su contexto local.

2.2. Objetivos específicos por dimensión competencial

Saber: dimensión conceptual

1. Explicar el fundamento bioquímico del compostaje como proceso biooxidativo aerobio, identificando los grupos microbianos protagonistas en cada fase del proceso.
2. Identificar las cuatro fases del proceso de compostaje (mesófila, termófila, enfriamiento y maduración) y describir las transformaciones bioquímicas y energéticas asociadas a cada una.
3. Reconocer las cinco variables operativas críticas (relación C/N, humedad, temperatura, aireación, pH) y justificar sus rangos óptimos a partir del comportamiento microbiano y de la cinética del proceso.
4. Diferenciar el compostaje aerobio del vermicompostaje y de la digestión anaerobia, en términos de condiciones operativas, productos resultantes y aplicaciones.
5. Identificar los indicadores de calidad del compost maduro (relación C/N final, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico e índice de germinación) y los métodos para su determinación.

Saber hacer: dimensión procedimental

6. Caracterizar la materia prima en términos de composición, humedad inicial y relación C/N estimada a partir de tablas de referencia.
7. Diseñar la mezcla inicial para alcanzar la relación C/N objetivo mediante un balance ponderado por masa.
8. Construir y operar una pila o compostador a escala de taller (volumen de 0,5 a 2 m³), aplicando los criterios constructivos de drenaje, aireación y protección contra la lluvia y la insolación directa.
9. Monitorear diariamente las variables operativas (temperatura, humedad cualitativa y olor). Registrar los datos en planillas estructuradas.
10. Ejecutar los volteos con la frecuencia adecuada y aplicar las acciones correctivas ante cualquier desviación (como exceso de humedad, baja temperatura y olores anaerobios).
11. Aplicar balances de materia simplificados para estimar el rendimiento másico del proceso (masa de compost producido por masa de residuo ingresado).
12. Realizar las pruebas básicas de madurez del compost (test de germinación de berro o lechuga, prueba de bolsa cerrada y observación de temperatura estable).

Saber ser: dimensión actitudinal

13. Valorar la transformación de los residuos orgánicos como contribución a la economía circular y a la reducción de la presión sobre los rellenos sanitarios municipales.
14. Trabajar en equipo con responsabilidad compartida en el seguimiento longitudinal del proceso, particularmente durante las fases que se extienden más allá de la carga horaria nominal.
15. Comunicar los resultados del proyecto (rendimientos, calidad y costos estimados) con transparencia y rigor cuantitativo, tanto a pares como a actores externos (municipio, asociaciones de productores).
16. Demostrar conciencia sanitaria en el manejo de residuos orgánicos potencialmente contaminados (cárnicos, lácteos, excrementos), aplicando las precauciones pertinentes.
17. Asumir el cuidado del entorno del compostador (control de vectores y manejo de olores) como una expresión de respeto a la comunidad educativa y al entorno barrial.

Tip didáctico para docentes

Una manera efectiva de articular las tres dimensiones competenciales es organizar la evaluación final del proyecto en tres componentes:

- Un examen escrito breve (30 min) que evalúe los conceptos (saber).
- La operación de la pila y el registro durante el período de seguimiento, evaluada por rúbrica (saber hacer).
- Una presentación final ante la comunidad (otros cursos, actores externos) que evalúe la comunicación y el compromiso (saber ser).

3. Contenidos teóricos mínimos

Los contenidos teóricos mínimos están organizados en cinco bloques que progresan desde el marco conceptual general hacia las herramientas cuantitativas y operativas. Se sugiere desarrollar los bloques A.3.1 y A.3.2 antes del inicio del montaje de la pila. Los bloques A.3.3 a A.3.5 pueden desarrollarse en paralelo con la operación.

3.1. Marco conceptual

- Definición de compostaje según la normativa boliviana de gestión de residuos.
- El compostaje en la jerarquía de la gestión de residuos: Referencia a la sección §6.3.3 de la Guía (prevención > reutilización > reciclaje > valorización > disposición final).

- Diferencias entre compostaje aerobio, vermicompostaje y digestión anaerobia: Condiciones operativas, productos, aplicaciones y limitaciones.
- Encadenamiento con la economía circular y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Enfoque en OSD 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), ODS 12 (Producción y consumo responsables) y ODS 13 (Acción por el clima, por la reducción de emisiones de CH₄ en relleno sanitario).

3.2. Bioquímica y microbiología del proceso

- **Composición típica de los residuos orgánicos urbanos:** Fracciones de carbohidratos, proteínas, lípidos, lignina y celulosa; humedad típica de los residuos de cocina (70 a 90%) frente a residuos vegetales secos (20 a 30%).
- **Grupos microbianos protagonistas:** Bacterias mesófilas, bacterias termófilas, actinomicetos, hongos. Sucesión microbiana a lo largo del proceso.
- **Reacciones bioquímicas globales y liberación de calor metabólico** (proceso exotérmico).
- **Formación de sustancias húmicas** (ácidos húmicos, fúlvicos y huminas) durante la fase de maduración.

3.3. Variables operativas y cinética del proceso

- **Relación carbono/nitrógeno (C/N):** Fundamento microbiológico (estequiometría celular ~25:1), valores típicos por sustrato, cálculo de la mezcla para alcanzar la relación C/N objetivo.
- **Humedad:** Efecto sobre la actividad microbiana, la disponibilidad de oxígeno y la generación de lixiviados. Métodos de medición directos e indirectos.
- **Dinámica de la temperatura:** Relación entre calor metabólico, el aislamiento de la pila y la disipación; curva típica esperada y sus desviaciones.
- **Aireación y suministro de oxígeno:** Requerimiento estequiométrico de oxígeno, sistemas pasivos (volteo, tubos perforados) y sistemas activos (sopladores).
- **Parámetros fisicoquímicos** (pH y conductividad eléctrica): Evolución durante el proceso y su significado para la calidad final del compost.

3.4. Balances de materia y energía

- **Balance global de materia:** Análisis de pérdidas por evaporación, mineralización (CO₂) y lixiviado. Cálculo del rendimiento másico típico (30 a 50% del peso fresco inicial).

- **Balance del carbono:** Distinción cuantitativa entre el carbono mineralizado (CO_2) y el carbono estabilizado de humus.
- **Balance del nitrógeno:** Mecanismos de pérdida por volatilización de amoníaco (evaluación de riesgo si el pH es superior a 8,5) y estrategias para su conservación en formas orgánicas estables.
- **Balance energético simplificado:** Estimación del calor metabólico generado y su comparación con la capacidad de aislamiento térmico de la pila.

3.5. Calidad del producto y seguridad sanitaria

- **Indicadores de madurez:** Temperatura estabilizada en el rango ambiente, relación C/N final entre 12 y 20, color marrón oscuro a negro y olor a tierra de bosque.
- **Indicadores de calidad agronómica:** Contenido y balance de macronutrientes (N, P, K), conductividad eléctrica (Inferior a 4 mS/cm) y capacidad de intercambio catiónico (superior a 60 cmol/kg).
- **Higienización y bioseguridad:** Requisitos de tiempo y temperatura para la inactivación biológica de patógenos (mantenimiento de una temperatura igual o superior a 55 °C durante al menos 3 días consecutivos).
- **Marco normativo de referencia:** Aplicación de la Norma Boliviana de gestión de residuos orgánicos (según el contexto local) y análisis con referencias internacionales (Norma Chilena NCh. 2880, Regulación Europea EBC).

4. Descripción detallada del proceso

La descripción detallada se organiza en cinco etapas operativas, desde la recepción del residuo hasta la cosecha del compost maduro.

4.1. Etapa 1: Recepción y caracterización del residuo

Los residuos orgánicos que ingresan al proceso deben caracterizarse mínimamente en cuanto a su origen, composición aproximada y humedad. La caracterización permite estimar la relación C/N inicial y diseñar la mezcla.

Fuentes recomendadas en el ITT y su entorno:

- **Residuos de cocina:** Del taller de Gastronomía como cáscaras de frutas y verduras, restos de preparaciones, posos de café y cáscaras de huevo trituradas.

- **Residuos de jardinería:** Del ITT y del entorno barrial como pasto cortado, hojas secas, podas pequeñas.
- **Residuos de carpintería:** Del ITT como aserrín de madera libre de aditivos químicos.
- **Estiércol seco:** De animales herbívoros (si está disponible) como gallinaza, estiércol bovino o equino.

Materiales que deben excluirse o limitarse:

- **Excluir:** Carnes, pescados y huesos grandes (atraen vectores); lácteos en grandes cantidades; aceites de cocina líquidos en exceso; excrementos de carnívoros (incluyendo humanos); residuos de podas con pesticidas recientes; y materiales no biodegradables (plásticos, metales, vidrios).
- **Limitar:** Cítricos en grandes cantidades (acidifican excesivamente), papel impreso con tintas no vegetales.

4.2. Etapa 2: Diseño, preparación y acondicionamiento de la mezcla

El objetivo es obtener una mezcla con relación C/N inicial entre 25 y 30 con una humedad entre 50% y 60% y un tamaño de partícula homogéneo. La preparación incluye:

- Triturar o desfibrar los materiales de gran tamaño (podas, cartón) hasta alcanzar la dimensión de una partícula de 2 a 5 cm.
- Pesar los componentes individuales según el diseño de la mezcla establecido en el balance de la materia (ver balance en A.5).
- Homogeneizar los materiales mediante el método de capas alternas o por mezcla directa.
- Ajustar la humedad mediante riego dispersado (empleando preferentemente una regadera para asegurar una distribución uniforme y evitando el uso de chorro directo).
- Cargar la mezcla homogeneizada y acondicionada en la pila o dentro del módulo del compostador.

4.3. Etapa 3: Construcción y operación de la pila

Tres configuraciones son recomendadas para talleres de ITT, en orden creciente de inversión económica y de nivel de control operativo:

- **Pila abierta:** Amontonamiento de la mezcla sobre superficie permeable (tierra) o impermeable (cemento), con dimensiones típicas de 1,5 m de ancho por 1,0 m de alto y longitud variable. Requiere un volumen mínimo de 1 m³ para asegurar la inercia térmica suficiente.

- **Compostador modular:** Estructura construida con madera tratada o pallets reciclados con paredes ventiladas. La disposición de tres módulos contiguos permite desplazar secuencialmente el material en sus distintos estados de madurez. Es la opción más recomendada para un ITT debido a su didáctica visible.
- **Compostador cerrado o biorreactor de tambor:** Recipiente plástico o metálico rotatorio que facilita la mezcla mecánica y el control de aireación. Representa una mayor inversión inicial, pero reduce el tiempo de procesamiento a un rango de 4 a 6 semanas.

Monitoreo y rutinas operacionales

- **Medir la temperatura interna (lunes y jueves):** Registrar la temperatura interna en tres puntos de la pila para monitorear la curva térmica.
- **Realizar el volteo en fase termófila (cada 7 días):** Realizar el volteo manual con horquilla o mecánico (si se emplea un compostador rotatorio) para oxigenar el sistema.
- **Reducir el volteo en fase de enfriamiento y maduración (cada 14 días):** Disminuir la frecuencia de aireación para permitir la estabilización del compost.
- **Ajustar la humedad del sistema:** Añadir agua mediante riego dispersado cuando la «prueba del puño cerrado» indique resequedad en la mezcla.
- **Realizar el registro fotográfico semanal:** Documentar visualmente la evolución, cambios físicos y el estado general de la pila.

4.4. Etapa 4: Cosecha y tamizado del compost

El compost se considera maduro y listo para la cosecha cuando se cumplen, de forma simultánea, con los siguientes criterios:

- **Estabilización térmica:** La temperatura interna se ha estabilizado en el rango ambiente durante al menos 7 días consecutivos.
- **Características organolépticas:** El material presenta un color marrón oscuro a negro, una estructura granular homogénea y un olor característico a tierra de bosque.
- **Prueba de estabilidad (bolsa cerrada):** El compost está en una bolsa hermética durante 48 h, no genera olores ofensivos ni compuestos volátiles anaerobios al abrirse.
- **Ensayo de fitotoxicidad (prueba de germinación):** La prueba de germinación con semillas de berro o lechuga arroja un índice de germinación superior al 80% en comparación con el grupo de control.

El proceso de acondicionamiento final se realiza mediante el tamizado con una malla de 1 cm de luz. El material grueso retornado al inicio del proceso constituye un excelente inóculo microbiano para activar la siguiente pila de compostaje.

4.5. Etapa 5: Envasado, etiquetado y disposición del compost

El compost cosechado se almacena en sacos rotulados con la fecha de cosecha, peso, número de pila de origen y, opcionalmente, los resultados de las pruebas de calidad. El etiquetado es una oportunidad pedagógica para integrar a la carrera de Diseño Gráfico, la cual puede elaborar la imagen institucional del producto del ITT.

5. Diagramas de bloques del proceso

Se presentan dos diagramas complementarios: un diagrama global de bloques (entradas–proceso–salidas) y un diagrama de flujo operativo por etapas con sus variables de control.

5.1. Diagrama global de entradas y salidas

Esquema de entradas y salidas del proceso de compostaje aerobio.

ENTRADAS (materia, energía)	PROCESO (biooxidación aerobia)	SALIDAS (producto y emisiones)
- Residuos orgánicos verdes (alta humedad, alto N) - Residuos orgánicos secos (baja humedad, alto C) - Agua de ajuste de humedad - Inóculo (compost maduro previo, opcional) - Oxígeno atmosférico (por volteo) - Energía: trabajo de volteo y triturado	Fase 1: Mesófila (25 a 40°C, duración estimada de 2 a 4 días) Fase 2: Termófila (45 a 65°C, duración estimada de 1 a 3 semanas) Fase 3: Enfriamiento (Duración estimada de 2 a 4 semanas) Fase 4: Maduración (Duración estimada de 1 a 3 meses)	Producto principal: - Compost maduro (30 a 50% del peso fresco inicial) Emisiones gaseosas: - CO₂ por mineralización - H₂O por evaporación - NH₃ en trazas (si el pH es alto) Otras salidas: - Calor disipado - Lixiviado mínimo (si la humedad está controlada)

5.2. Diagrama operativo por etapas

El siguiente diagrama de bloques describe el flujo operativo, con los puntos de control y las variables que se monitorean en cada etapa.

Diagrama. Flujo operativo del compostaje con puntos de control

Nº	Bloque operativo	Operaciones y variables	Punto de control / decisión
1	Recepción y caracterización del residuo	Clasificar el lote por tipo (verde, seco o estiércol), registrar el peso de la masa total (kg) y estimar el porcentaje de humedad inicial.	¿La relación C/N estimada está fuera de 20 a 35? → Ajustar antes de mezclar.
2	Triturado y homogeneización	Triturar materiales que superan los 5 cm. Homogeneizar el tamaño de partícula de 2 a 5 cm.	Inspección visual del tamaño. Si hay piezas grandes, retornar a trituradora.
3	Pesado y diseño de la mezcla	Pesar cada componente según el balance C/N (ver §A.6.1). Pesar volumen de agua requerido para el ajuste.	¿La masa total cabe en el compostador? En caso de que no, procesar en lotes.
4	Carga y arranque de la pila	Cargar en capas alternadas (seco / verde). Inocular el sistema con compost maduro (opcional, recomendando una cantidad $\leq 5\%$ de la masa total inicial). Registrar la temperatura y la humedad inicial.	Día 0 del proceso. Marcar fecha en cuaderno de pila y en etiqueta visible.
5	Fase mesófila (días 1–4)	Medir la temperatura diariamente en 3 puntos (centro, 1/3 y 2/3). Inspeccionar visualmente la humedad. Sin realizar el volteo aún.	¿T supera 45 °C? → Ingresar a fase termófila. Si no asciende en 5 días, revisar C/N y humedad.
6	Fase termófila (días 4–25)	Medir la temperatura diariamente. Volteo cada 7 días. Verificar humedad. Registrar fecha y duración por encima de 55 °C.	¿T > 70 °C? → Voltear de inmediato. ¿ ≥ 55 °C durante 3 días consecutivos? → Higienización completa.
7	Fase de enfriamiento (semanas 4–8)	Medir la temperatura 2 veces por semana. Volteo cada 14 días. Reducción gradual de humedad.	¿T desciende establemente a ambiente? → Fase de maduración.
8	Fase de maduración (semanas 8–16)	Sin volteo. Medir la temperatura semanalmente. Aplicar pruebas de madurez.	¿T estable, germinación > 80 % y olor a tierra? → Cosechar.
9	Cosecha, tamizado y envasado	Tamizar con malla de 1 cm. Pesar producto final. Registrar rendimiento másico (kg compost / kg residuo fresco). Envasar y etiquetar.	Calcular $\eta = m_{\text{final}} / m_{\text{inicial}}$ y comparar con valor esperado (de 0,30 a 0,50).

6. Balances de materia y energía simplificados

Esta sección presenta los modelos cuantitativos mínimos que permiten estimar, antes y durante el proceso, los rendimientos esperados, así como verificar *a posteriori* la coherencia de los resultados obtenidos. Si bien los modelos son simplificados, son suficientes para el nivel formativo de los ITT y se complementan con plantillas Excel sugeridas en la sección A.10.

6.1. Balance del carbono y diseño de la mezcla por relación C/N

La relación carbono/nitrógeno (C/N) de una mezcla de n componentes, ponderada por la masa seca de cada uno, se calcula con la siguiente expresión:

$$(C/N)_{\text{mezcla}} = \frac{\sum (m_i \cdot MS_i \cdot C_i)}{\sum (m_i \cdot MS_i \cdot N_i)}$$

Donde:

m_i = masa fresca del componente i (kg)

MS_i = fracción de materia seca del componente i (adimensional, entre 0 y 1)

C_i = contenido de carbono en base seca del componente i (% en peso)

N_i = contenido de nitrógeno en base seca del componente i (% en peso)

Los valores típicos de C, N y materia seca para los sustratos más usuales se presentan en la siguiente tabla.

Composición típica de sustratos para compostaje (valores de referencia).

Sustrato	Humedad (%)	C (% base seca)	N (% base seca)	C/N (estimada)
Residuos de cocina (verdes)	70 a 85	45 a 50	2,5 a 3,0	15 a 20
Pasto verde recién cortado	75 a 85	45	3,5 a 4,5	12 a 15
Hojas secas	15 a 25	48 a 52	0,8 a 1,2	40 a 60
Paja de cereales	10 a 15	45 a 50	0,5 a 0,7	70 a 90
Aserrín (madera blanda)	15 a 30	48 a 52	0,1 a 0,2	300 a 500
Cartón corrugado triturado	5 a 10	43 a 47	0,1 a 0,2	250 a 400
Estiércol bovino fresco	75 a 85	30 a 35	1,5 a 2,0	18 a 22
Gallinaza (estiércol de aves)	50 a 75	35 a 40	4,0 a 6,0	7 a 10

Ejemplo numérico de diseño de la mezcla

Se cuenta con de 30 kg de residuos de cocina ($C/N \approx 18$, $MS \approx 25\%$) y se busca alcanzar una mezcla con $C/N \approx 28$ agregando hojas secas ($C/N \approx 50$, $MS \approx 80\%$). Calcular la masa fresca de hojas secas a añadir.

Planteo del balance ponderado por masa seca:

$$(C/N)_{\text{mezcla}} = \frac{[m_1 \cdot MS_1 \cdot C_1 + m_2 \cdot MS_2 \cdot C_2]}{[m_1 \cdot MS_1 \cdot N_1 + m_2 \cdot MS_2 \cdot N_2]}$$

Tomando valores analíticos para residuos de cocina $C_1 = 47,5\%$; $N_1 = 2,64\%$; para hojas $C_2 = 50\%$, $N_2 = 1\%$:

- Masa seca de cocina: $MS_c = 30 \times 0,25 = 7,5$ kg
- Carbono aportado por cocina: $C_c = 7,5 \times 0,475 = 3,5625$ kg
- Nitrógeno aportado por cocina: $N_c = 7,5 \times 0,0264 = 0,198$ kg

Sea m_2 la masa fresca de hojas.

- Aporte de C: $0,80 \cdot m_2 \cdot 0,50 = 0,40 \cdot m_2$.
- Aporte de N: $0,80 \cdot m_2 \cdot 0,01 = 0,008 \cdot m_2$.

Igualando a C/N objetivo = 28:

$$(3,5625 + 0,40 \cdot m_2) / (0,198 + 0,008 \cdot m_2) = 28$$

Resolviendo:

$$3,5625 + 0,40 \cdot m_2 = 28 \cdot (0,198 + 0,008 \cdot m_2) = 5,544 + 0,224 \cdot m_2$$

$$\rightarrow 0,176 \cdot m_2 = 1,9815$$

$$\rightarrow m_2 \approx 11,3 \text{ kg de hojas secas}$$

Verificando:

- Aporte total de C = $3,5625 + 4,52 = 8,08$ kg;
- Aporte total de N = $0,198 + 0,090 = 0,288$ kg; $C/N = 28,0$ ✓

6.2. Balance global de materia

Durante el proceso de compostaje, una fracción significativa de la masa inicial se pierde por mineralización (CO_2) y por evaporación (H_2O). El balance global, en base húmeda, se expresa como:

$$m_{\text{inicial}} = m_{\text{final}} + m_{\text{CO}_2} + m_{\text{H}_2\text{O, evap}} + m_{\text{lixiviado}}$$

Para un proceso bien controlado, sin lixiviado significativo (humedad mantenida en su rango óptimo), el rendimiento másico de compost fresco respecto al residuo fresco inicial se sitúa típicamente entre 30% y 50%, con un valor de diseño habitual del 40%:

$$\eta_{\text{másico}} = m_{\text{compost, final}} / m_{\text{residuo, inicial}} \approx 0,30 - 0,50$$

Para estimar la masa de CO₂ liberada, puede usarse el balance del carbono. Si C inicial es la masa de carbono en el residuo seco primario y C final es la masa de carbono del compost maduro seco, entonces:

$$m_{\text{CO}_2} = (C_{\text{inicial}} - C_{\text{final}}) \cdot (44 / 12)$$

Donde 44/12 es la relación másica entre el CO₂ y el carbono atómico. Para un residuo típico, la pérdida de carbono durante el proceso está entre 40% y 60% del carbono inicial.

Ejemplo numérico de balance global

Considerando la mezcla del ejemplo anterior (30 kg de residuos de cocina + 11,3 kg de hojas secas = 41,3 kg de residuo fresco total). Estimar la masa de compost esperada al cabo de 12 semanas.

Aplicando rendimiento de diseño $\eta = 0,40$:

$$m_{\text{compost}} \approx 0,40 \times 41,3 \approx 16,5 \text{ kg de compost fresco}$$

La masa seca inicial total era: $MS_{\text{inicial}} = 7,5 + 9,04 = 16,54 \text{ kg}$; con 8,08 kg de carbono. Si la pérdida de carbono es del 50%, entonces:

- $m_{\text{CO}_2} \approx 0,50 \times 8,08 \times (44/12) \approx 14,8 \text{ kg de CO}_2 \text{ liberados}$
- $m_{\text{H}_2\text{O evaporada}} \approx m_{\text{inicial}} - m_{\text{compost}} - m_{\text{CO}_2} \approx 41,3 - 16,5 - 14,8 = 10,0 \text{ kg}$

6.3. Balance energético simplificado

La descomposición microbiana de la materia orgánica libera energía en forma de calor metabólico. El balance energético simplificado de la pila se plantea como:

$$Q_{\text{generado}} = Q_{\text{calentamiento}} + Q_{\text{evaporación}} + Q_{\text{pérdidas}}$$

Donde:

Q_{generado} = calor metabólico liberado por la oxidación biológica de la materia orgánica.

$Q_{\text{calentamiento}}$ = energía empleada en elevar la temperatura de la masa de la pila desde la temperatura ambiente hasta la temperatura termófila.

$Q_{\text{evaporación}}$ = energía consumida en evaporar agua de la masa.

$Q_{\text{pérdidas}}$ = calor disipado al ambiente por convección y radiación a través de la superficie de la pila.

Como referencia, el calor metabólico medio liberado por la oxidación de un kilogramo de materia orgánica seca se sitúa en torno a:

$$\Delta H_{\text{metabólico}} \approx 14 - 18 \text{ MJ / kg materia orgánica seca degradada}$$

Para una pila de 41,3 kg de residuo fresco ($\approx 16,5$ kg de materia seca, de la cual se degrada aproximadamente el 50 %, esto es ≈ 8 kg), el calor metabólico total liberado a lo largo del proceso se estima en:

$$Q_{\text{generado}} \approx 8 \times 16 \text{ MJ} \approx 128 \text{ MJ} \approx 35,6 \text{ kWh}$$

Esta energía se libera de forma distribuida a lo largo de varias semanas, concentrándose principalmente en la fase termófila. La elevación de temperatura observable (típicamente de 20°C ambiente a 60°C interna, lo que equivale a $\Delta T = 40^\circ\text{C}$) requiere, considerando un calor específico medio de la masa húmeda de $\approx 3 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ calcular la energía empleada en elevar dicha temperatura mediante la siguiente relación:

$$Q_{\text{calentamiento}} \approx 41,3 \times 3 \times 40 \approx 4\,956 \text{ kJ} \approx 5 \text{ MJ}$$

Lo que representa apenas el $\approx 4\%$ del calor total liberado. El resto se reparte entre evaporación (que es un proceso altamente intensivo, dado que evaporar 10 kg de agua consume $\approx 22,6 \text{ MJ}$) y las pérdidas convectivas al ambiente. Estas últimas son particularmente significativas en pilas pequeñas con una alta relación superficie/volumen, como suele ocurrir con las pilas didácticas implementadas en los ITT.

Observación didáctica ¿Por qué la pila no calienta?

Una observación frecuente en talleres de ITT en climas fríos -como el altiplano boliviano- es que la pila no alcanza la fase termófila. La causa habitual no es falta de actividad microbiana, sino que la relación superficie/volumen de la pila es demasiado alta, lo que provoca que las pérdidas convectivas superen al calor metabólico generado.

Soluciones:

- Aumentar el volumen de la pila: Lograr un volumen mínimo de 1 m^3 para mejorar la retención térmica.
- Aislar térmicamente: Rodear el perímetro con sacos rellenos de paja o colocar láminas de plástico de burbujas entre los paneles del compostador.
- Proteger del cielo nocturno: Cubrir la parte superior con lona o cartón humedecido para evitar pérdidas radiativas durante la noche.
- Verificación previa: Asegurar de que la relación C/N y la humedad estén sus rangos óptimos. Una pila con C/N inadecuada no generará suficiente calor metabólico.

7. Criterios de seguridad operacional

Aunque el compostaje es uno de los procesos de transformación de menor riesgo entre los seis incluidos en el componente, existen peligros específicos que deben ser identificados, comunicados a las y los estudiantes y mitigados mediante protocolos claros. La seguridad se aborda en tres dimensiones: peligros biológicos, peligros físicos y peligros químicos.

7.1. Identificación de peligros

Categoría	Peligro identificado	Población expuesta	Mecanismo de exposición
Biológico	Patógenos en residuos crudos (E. coli, Salmonella, parásitos intestinales).	Operarios durante la etapa de carga inicial.	Contacto directo (piel-residuo), salpicaduras, inhalación de bioaerosoles.
Biológico	Esporas fúngicas y actinomicetos (Aspergillus, Thermoactinomyces.)	Operarios encargados del volteo de la pila, particularmente personas con asma o alergias.	Inhalación de bioaerosoles durante el volteo.

Categoría	Peligro identificado	Población expuesta	Mecanismo de exposición
Físico	Cortes con elementos no orgánicos no detectados (vidrios, metales).	Operarios durante la carga y el volteo.	Contacto directo y desprotegido con material durante la manipulación.
Físico	Lesiones músculo-esqueléticas por volteo manual.	Operarios durante el volteo de pilas grandes.	Postura inadecuada, sobreesfuerzo.
Físico	Quemaduras por contacto con material termófilo.	Operarios durante medición de la temperatura y volteo en fase activa	Contacto directo con masa que está entre 60 a 70 °C.
Químico	Liberación localizada de amoníaco (NH ₃).	Operarios cuando el pH es superior a 8,5 y se libera N.	Inhalación durante el volteo.
Químico	Producción anaerobia de H ₂ S y compuestos azufrados (en caso de que el proceso entre en anaerobiosis).	Operarios y comunidad cercana.	Inhalación, molestias por olor.
Sanitario	Atracción de vectores (moscas y/o roedores).	Comunidad educativa y barrio cercano.	Transmisión vectorial de enfermedades.

7.2. Equipos de Protección Personal (EPP) requeridos

El EPP mínimo para operar el proceso de compostaje a escala de taller incluye:

- **Protección de manos:** Guantes de nitrilo desechables para la manipulación y segregación inicial de los residuos crudos. Para el volteo de la pila, uso de herramientas y manejo de compost maduro, se debe utilizar guantes de cuero o lona resistente.
- **Protección respiratoria:** Mascarilla N95 o su equivalente FFP2 durante las labores de volteo, particularmente durante la fase termófila o para personas con sensibilidad respiratoria o antecedentes de alergias.
- **Protección ocular:** Gafas de seguridad o antiimpacto para proteger los ojos frente a posibles partículas proyectadas o salpicaduras durante el volteo o el triturado de material.
- **Calzado de seguridad:** Calzado cerrado con suela antideslizante para evitar caídas y pinchazos. En condiciones de alta humedad, con presencia de lodo o barro, utilizar botas de hule (botas de agua).
- **Indumentaria de trabajo:** Mandil, overol o ropa de trabajo dedicada que deba retirarse y separarse de la vestimenta cotidiana al concluir la práctica en el taller.
- **Protocolo de higiene obligatoria:** Lavado riguroso de manos con agua y jabón antes y después de cada intervención en la pila. Idealmente, se recomienda una ducha corporal al finalizar la jornada de operación.

7.3. Protocolos previos a la operación, durante y posoperación

Verificación de la lista de preoperación (antes de cada sesión)

- Verificar disponibilidad y estado del EPP para todas las personas del equipo.
- Inspeccionar visualmente la pila y su entorno (presencia de animales, derrames de

lixiviado e integridad del compostador).

- Confirmar disponibilidad de agua corriente y jabón para lavado de manos.
- Verificar que el cuaderno de pila (registro de datos) esté disponible y actualizado.
- Confirmar que ninguna persona del equipo presente heridas abiertas en manos o brazos; si las hay, asignar tarea sin contacto directo con el sustrato.

Durante la operación

- Mantener una distancia mínima de seguridad respecto a otras personas durante el volteo, considerando la proyección de bioaerosoles.
- Evitar la ingestión accidental: no comer, no beber y no fumar durante la operación.
- Usar la técnica correcta de levantamiento para el volteo (flexión de rodillas, espalda recta, carga próxima al cuerpo).
- Si la temperatura interna supera los 70 °C, voltear con horquilla de mango largo para evitar quemaduras y la proyección de vapor caliente.
- Si se detectan olores anaerobios fuertes, presencia de vectores en cantidad inusual o presencia de objetos contaminantes (vidrios, agujas), detener la operación de inmediato y consultar al o la docente.

Posoperación

- Limpieza de herramientas con agua y, si se manipuló material en descomposición evidente, hacerlo con una solución desinfectante diluida (hipoclorito 0,5%).
- Retiro y disposición del EPP desechable. Lavado del EPP reutilizable.
- Lavado obligatorio de manos y antebrazos con agua y jabón.
- Registro inmediato, en el cuaderno de pila, de las observaciones de la sesión (Temperatura medida, volteo realizado, eventos atípicos).
- Cobertura de la pila cuando las condiciones meteorológicas lo demanden (En caso de lluvia intensa esperada o exposición solar prolongada y directa).

Criterios para suspender una sesión de operación

El o la docente responsable deberá suspender la sesión y postergar la práctica en los siguientes casos:

- Lluvia intensa que comprometa la operación segura al aire libre.
- Estudiantes sin EPP completo disponible.
- Detección de residuos peligrosos en la pila (residuos médicos, químicos, vidrio roto en cantidad).
- Olor anaerobio extremo (indicador de proceso descontrolado), se debe atender la corrección antes de exponer al grupo.
- Presencia de cualquier estudiante con sintomatología respiratoria activa sin EPP respiratorio adecuado.

8. Equipamiento, herramientas e insumos

La siguiente lista presenta el equipamiento mínimo necesario para implementar el proyecto a escala de taller. Los costos referenciales (en Bs, establecidos a mayo 2026), deben actualizarse al contexto local de cada ITT.

N°	Ítem	Cantidad	Costo unit. ref. (Bs)	Observación
1	Compostador modular de 3 cuerpos (madera o pallets reciclados, 1 m ³ c/u).	1 conjunto	De 800 a 1 500	Construcción en articulación con la Carrera de Construcción Civil o la Carrera de Mecánica Industrial.
2	Termómetro de varilla de 50 cm (rango de 0 a 100 °C).	2	De 150 a 250 c/u	Esencial para el seguimiento.
3	Horquillas de jardinería para el volteo (de 4 dientes).	2	De 80 a 120 c/u	Para el volteo manual.
4	Tamiz de 1 cm de luz de 60 × 60 cm.	1	De 120 a 200	Para la cosecha, construible en taller.
5	Balanza de plataforma (capacidad igual o superior a 60 kg y resolución de 50 g).	1	De 400 a 800	Esencial para el balance de materia y el control de rendimiento másico.
6	Tiras de pH o pH metro de bolsillo.	1 kit	De 50 a 350	Para el seguimiento periódico.
7	Regadera de 10 L para ajuste de la humedad.	1	De 60 a 100	Para el riego dispersado (no chorro).
8	Un EPP por estudiante (guantes, mascarilla, gafas).	5 a 10 kits	De 30 a 50 c/u	Debe realizarse una reposición periódica de mascarillas y guantes desechables.
9	Sacos de polipropileno para envasado de compost (de 25 kg).	20 a 40	De 3 a 5 c/u	Para el producto terminado.
10	Cuaderno de pila y planillas Excel para el seguimiento.	1 set	—	Material didáctico.

Costo total estimado de implementación: El cálculo está entre 2 200 Bs (configuración mínima con compostador autoconstruido) y 4 500 Bs (configuración con instrumentación completa).

A.9. Criterios e instrumentos de evaluación

La evaluación del proyecto integrador se distribuye entre las tres dimensiones competenciales con los siguientes pesos sugeridos (ajustables al contexto institucional):

Dimensión	Peso	Instrumento sugerido										
Saber (conocimiento)	30%	Examen escrito breve (Seis preguntas) Duración total: 30 minutos. Estructura del instrumento Tres preguntas conceptuales Dos ejercicios numéricos de balance C/N y Un ejercicio de identificación de fases										
Saber hacer (procedimental)	50%	Rúbrica de operación de la pila (10 ítems): <table><tr><td>1. Caracterización</td><td>6. Acciones correctivas</td></tr><tr><td>2. Diseño de mezcla</td><td>7. Cosecha</td></tr><tr><td>3. Montaje</td><td>8. Rendimiento calculado</td></tr><tr><td>4. Registro de datos</td><td>9. Calidad del producto</td></tr><tr><td>5. Volteos</td><td>10. Presentación del cuaderno de pila</td></tr></table>	1. Caracterización	6. Acciones correctivas	2. Diseño de mezcla	7. Cosecha	3. Montaje	8. Rendimiento calculado	4. Registro de datos	9. Calidad del producto	5. Volteos	10. Presentación del cuaderno de pila
1. Caracterización	6. Acciones correctivas											
2. Diseño de mezcla	7. Cosecha											
3. Montaje	8. Rendimiento calculado											
4. Registro de datos	9. Calidad del producto											
5. Volteos	10. Presentación del cuaderno de pila											
Saber ser (actitudinal)	20%	Coevaluación de equipo Autoevaluación Presentación final ante la comunidad (con una duración máxima de 5 min por equipo)										

A.10. Materiales complementarios sugeridos

Para apoyar la operación del Proyecto Integrador, se sugiere la elaboración de los siguientes materiales complementarios, en consonancia con las preferencias didácticas del personal docente especializado:

- **«Diseño de mezcla y balance de materia» (con fórmulas activas) en Planilla Excel:** Herramienta digital en la que el alumnado ingresa la información de las masas y composiciones de cada componente para calcular automáticamente la relación C/N resultante, el rendimiento esperado, las emisiones estimadas de CO₂ y la energía total liberada en el proceso.
- **«Cuaderno de pila digital» en Planilla Excel:** Bitácora automatizada que genera gráficos de temperatura vs. tiempo, identifica visualmente las fases del proceso y emite alertas operativas si la temperatura sale del rango esperado.
- **Guía gráfica plastificada:** Manual visual e impermeable para uso permanente en el sitio de compostaje, con criterios específicos para la “prueba del puño cerrado” (control de humedad) y la identificación de los signos visuales de cada fase.
- **Plantilla de etiqueta de envasado:** Formato base de diseño para los sacos de compost, producido y estructurado de manera que el equipo de Diseño Gráfico de cada ITT pueda integrar los elementos de su propia identidad institucional.

Nota final para el docente

Este anexo concluye el contenido del primer Proceso Integrador del componente curricular. Las próximas secciones de la presente guía incorporarán, bajo una estructura homóloga, los proyectos integradores correspondientes a: digestión anaerobia, densificación de biomasa, reciclaje mecánico de plásticos, pirólisis y residuos de construcción y demolición. Cada uno de estos bloques temáticos incluirá su respectivo anexo de complementación y evaluación curricular.

La ruta de aprendizaje recomendada se inicia deliberadamente con el compostaje por ser el proceso de menor riesgo operativo y mayor accesibilidad logística. Esto permite a los grupos de estudiantes consolidar, de manera temprana y segura, las competencias fundamentales asociadas a los protocolos de seguridad biológica, el registro de datos y el desarrollo del balance de materia, herramientas analíticas que se aplicarán posteriormente, con un nivel de rigor técnico superior, en los siguientes procesos de conversión.

ANEXO 3

Procesos prácticos de la Unidad 3

Guía de complementación curricular sobre Densificación de Biomasa: briquetas y pellets

Proceso práctico N° 2

1. Identificación del proyecto integrador

Denominación	Proyecto Integrador de Aula N° 2: Densificación de biomasa lignocelulósica: producción de briquetas y pellets
Unidad temática de inserción	UT-3: Valorización y aprovechamiento de residuos
Unidades de Competencia vinculadas	UCB-2: Valorización UCB-5: Innovación y Emprendimiento UC de Mecánica Industrial: Diseño y fabricación de equipos UC de Química Industrial: Caracterización de materiales y análisis energético UC de Electricidad Industrial: Sistemas de calefacción y control
Carga horaria sugerida	48 horas pedagógicas: 8 h de teoría, 18 h de construcción de equipos y diseño de moldes, 14 h de producción y pruebas, 4 h de control de calidad y evaluación, y 4 h de presentación
Modalidad	El Proyecto Integrador incluye: práctica de taller, trabajo en equipos de 3 a 5 estudiantes, producción por lotes y entrega de producto terminado con certificado básico de calidad.
Nivel de competencia	Nivel 2: Aplicación (operación del proceso) con elementos de Nivel 3: Gestión (diseño y fabricación del equipo, análisis de calidad del producto).

2. Objetivos de aprendizaje

Los objetivos de aprendizaje se estructuran en términos de resultados de aprendizaje observables y evaluables, clasificándose explícitamente en las tres dimensiones competenciales del perfil de egreso: saber (conocimiento conceptual), saber hacer (habilidad procedimental) y saber ser (actitud y valor).

2.1. Objetivo general

Objetivo general del Proyecto Integrador

Al concluir el proyecto integrador, las y los estudiantes serán capaces de:

- **Caracterizar** la biomasa lignocelulósica disponible en el ITT y su entorno.
- **Diseñar y fabricar** una prensa de compactación de bajo costo.
- **Producir** briquetas de biomasa de calidad verificable.
- **Aplicar** balances de materia y energía simplificados para estimar el poder calorífico y el rendimiento del proceso.
- **Observar** los criterios de seguridad asociados al manejo de biomasa caliente y gases de carbonización.

2.2. Objetivos específicos por dimensión competencial

Saber: dimensión conceptual

1. Explicar la composición de la biomasa lignocelulósica (celulosa, hemicelulosa, lignina, extractivos, cenizas) y la función operativa de cada componente en el proceso de densificación.
2. Describir los mecanismos físicos de la compactación de biomasa: el reordenamiento de partículas, la deformación elástica y plástica, y la unión por puentes de lignina activada.
3. Distinguir entre briquetas y pellets en cuanto a dimensión, presión de fabricación, granulometría de la materia prima, requerimientos de equipamiento necesario y aplicaciones energéticas.
4. Justificar el efecto de la humedad de la biomasa sobre la cohesión del producto final y sobre su poder calorífico, a partir del concepto termodinámico de calor latente de vaporización del agua.
5. Describir el proceso de carbonización en horno de tambor como etapa de pretratamiento para la producción de briquetas de carbón, detallando sus fases operativas, productos obtenidos y rendimientos masivos.
6. Interpretar los resultados del análisis inmediato de la biomasa (humedad, cenizas, materia volátil, carbono fijo) y su relación directa con la determinación del poder calorífico.

Saber hacer: dimensión procedimental

7. Determinar la humedad de la biomasa mediante el método gravimétrico (pesaje diferencial antes y después del secado) y calcular el porcentaje de humedad en base húmeda.
8. Acondicionar la biomasa a través de operaciones de triturado, secado y clasificación granulométrica, hasta alcanzar las condiciones óptimas del proceso (humedad de 10 a 15%, tamaño de 5 a 25 mm).
9. Construir una prensa de compactación (de tornillo o hidráulica de bajo costo), incorporando moldes cilíndricos, siguiendo los planos técnicos simplificados del taller.
10. Producir briquetas de biomasa por prensado mecánico, registrando la fuerza de compactación, el tiempo de retención bajo compresión y la masa total de materia prima utilizada.
11. Efectuar el balance de materia simplificado del sistema para calcular el rendimiento másico del proceso y estimar el poder calorífico neto de las briquetas producidas.

12. Evaluar la calidad física y mecánica de las briquetas mediante pruebas estandarizadas de la densidad aparente, resistencia al aplastamiento (carga hasta la fractura), porcentaje de finos tras un ensayo de caída libre de 1 m de altura.

Saber ser: dimensión actitudinal

13. Valorar los residuos locales de biomásicos (aserrín, paja y restos de poda) como recursos energéticos estratégicos con potencial real para la sustitución de leña y carbón provenientes de fuentes forestales no sostenibles.
14. Asumir el diseño y la fabricación de los equipos con responsabilidad profesional, entendiéndolos como una expresión de la identidad técnica del ITT y como evidencia concreta de las competencias de ingeniería aplicada adquiridas.
15. Ejercer con disciplina y rigor metodológico las rutinas de pesaje, registro de datos y cálculo de cada lote, reconociendo de forma proactiva que la mejora continua del proceso depende de la consistencia de los datos cuantitativos.
16. Demostrar conciencia ambiental y de economía circular al priorizar el uso de biomasa de desecho sobre fuentes forestales primarias, comprometiéndose con la minimización de residuos a lo largo de todo el ciclo de producción.

Tip didáctico para docentes

La fabricación de la prensa de tornillo por parte de los estudiantes de Mecánica Industrial es en sí misma el proyecto integrador de mayor visibilidad. Se recomienda asignar el diseño y la construcción de la prensa como entregable del primer tercio del proyecto, de modo que los propios fabricantes sean luego los operadores del equipo y los responsables de su mantenimiento. El sentimiento de orgullo que produce utilizar una herramienta propia es uno de los motivadores pedagógicos más potente en la formación técnica.

3. Contenidos teóricos mínimos

Los contenidos del componente se estructuran en seis bloques progresivos, distribuidos en dos fases operativas: los bloques A.3.1 a A.3.3 se desarrollan de forma previa al inicio de la construcción de los equipos, mientras que los bloques A.3.4 a A.3.6 se ejecutan en paralelo con las etapas de producción y control de calidad.

3.1. Marco conceptual y normativo

- **La biomasa lignocelulósica en la jerarquía de la gestión de residuos:** Análisis del residuo agroindustrial y forestal como recurso energético, en el marco de la Ley N.º 755 (Gestión Integral de Residuos) y sus diferencias operativas frente a los residuos orgánicos húmedos.

- **Densificación de biomasa en el contexto de la economía circular:** Mecanismos para la sustitución progresiva de leña, carbón mineral y derivados del petróleo en sistemas de cocción y calefacción a pequeña escala.
- **Vinculación con las metas globales de desarrollo sostenible:** Contribución directa al ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y al ODS 13 (Acción climática) mediante la mitigación de la deforestación local por el aprovechamiento de residuos sólidos vegetales.
- **Marco normativo y estándares de referencia internacional:** Norma EN 14961 con especificaciones técnicas para briquetas y pellets de uso residencial (especificaciones de densidad aparente, porcentaje de humedad y contenido de cenizas); Norma EN 15359:2011 con directrices de clasificación y requerimientos de calidad para combustibles derivados de residuos.

3.2. Composición y propiedades de la biomasa lignocelulósica

- **Celulosa (30 a 50% de la biomasa):** Polímero lineal de glucosa, de alta cristalinidad, su degradación térmica inicia en el rango de 250 a 350 °C y es el componente que aporta la rigidez mecánica y estructural primaria a la fibra.
- **Hemicelulosa (20 a 35%):** Heteropolímero ramificado compuesto por diversas azúcares, con una estructura de menos cristalinidad. Su degradación térmica inicia en 150 a 300 °C y presenta una alta susceptibilidad a la plastificación térmica.
- **Lignina (18 a 35%):** Polímero aromático tridimensional de alta densidad energética. Se plastifica a una temperatura de 80 a 120 °C, actuando como aglutinante o ligante natural en el proceso de densificación; su degradación térmica se produce a una temperatura de 250 a 500 °C.
- **Extractivos (1 a 15%):** Compuestos orgánicos no estructurales (ceras, resinas, taninos, terpenos). Influyen directamente en los mecanismos de cohesión del producto y en el olor durante la combustión.
- **Cenizas (0,5 a 15%):** Fracción mineral inorgánica que no contribuye a la energía. Su concentración, en cantidad, es mayor en cascarillas y pajas que en madera.
- **Análisis inmediato:** Evaluación normalizada mediante métodos gravimétricos para la determinación cuantitativa de los parámetros analíticos clave como la humedad (M), las cenizas (A), la materia volátil (VM) y el carbono fijo (FC). Interpretación de resultados para evaluar la calidad energética de la biomasa.

3.3. Humedad, secado y poder calorífico

- **Humedad en base húmeda (M_{bh}) y en base seca (M_{bs}):** Definiciones, interconversión y relevancia para el proceso de densificación.

- **Efecto de la humedad sobre la compactación:** Humedades superiores al 20% generan vapor atrapado durante la compresión que fractura la briqueta al salir del molde. Humedades inferiores al 8% reducen la plasticidad de la lignina y la cohesión de las partículas.
- **Poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI):** Definición, diferencia (calor latente de vaporización del agua en los gases de combustión) y unidades (MJ/kg, kcal/kg, kWh/kg).
- **Relación entre humedad y PCI:** A mayor humedad menor PCI neto disponible. La corrección de PCI por humedad se realiza mediante la fórmula de Dulong simplificada.
- **Métodos de secado accesibles en el ITT:** Secado solar (de 1 a 5 días sobre lona o malla), en horno a temperatura de 60 a 80 °C, aprovechamiento del calor residual de otros equipos.

3.4. Principios y parámetros de los equipos de compactación

Prensa de tornillo (tipo mecánico)

- **Componentes:** Cuerpo roscado (husillo M30 o M40), molde cilíndrico de tubo de acero, base de apoyo y manivela o palanca amplificadora de fuerza.
- **Principio operativo:** La rotación del husillo convierte el par de torsión en fuerza axial sobre el material; la relación de transmisión depende del paso de la rosca (una rosca fina incrementa la fuerza axial, requiriendo un mayor número de vueltas por avance).
- **Ventajas:** Fabricación simplificada (procesos básicos de soldadura y roscado), sin energía eléctrica y de alta portabilidad. El diseño es adecuado para producciones de demostración didáctica.
- **Limitaciones:** Producción baja (1 a 3 briquetas/min en modo manual), capacidad de presión máxima moderada (50 a 100 MPa) y propensión a la fatiga física del operario ante un uso prolongado.

Prensa hidráulica de gato (recomendada para el ITT)

- **Componentes:** Gato hidráulico con capacidad de 5 a 10 t (opción de reutilización/segunda mano), marco estructural soldado de perfil cuadrado de 50 50 mm, moldes intercambiables (cilíndrico o prismático) y plato de presión superior.
- **Principio operativo:** La presión hidráulica ejercida por el gato actúa sobre el plato de presión, transmitiendo la fuerza de forma axial al interior del molde. La presión en el molde se calcula mediante la relación: $P = F_{\text{gato}} / A_{\text{molde}}$.

- **Ventajas:** Presión controlada mediante el manómetro del gato (50 a 200 MPa según el tamaño del molde), ciclo de producción rápido (menor a 2 min/ciclo) y bajo costo de fabricación.
- **Especificaciones de construcción:** Marco estructural de acero de 50 503 mm con una altura de 50 a 60 cm, molde de tubo de acero SCH-40 de Ø 50 a 100 mm y pistón de presión torneado en acero al carbono.

Extrusora de tornillo para pellets (adaptación de picadora de forraje)

- **Principio operativo:** El husillo empuja la biomasa húmeda a través de un dado provisto de múltiples orificios de Ø 6 a 10 mm, la fricción generada durante el paso por los orificios genera el calor que plastifica la lignina, permitiendo que el producto salga como varillas que se cortan en longitud requerida.
- **Adaptación de picadora de forraje:** Modificación de una picadora de forraje convencional (disponible en cooperativas agrícolas o fabricada localmente) mediante la integración de un dado perforado en la salida y la adición de un sistema de calefacción en el dado de extrusión para mejorar la plastificación. Esta modificación es un proyecto avanzado para el taller de Mecánica Industrial.
- **Limitaciones técnicas:** Exige un proceso previo de molienda fina de la biomasa (inferior a 4 mm), demanda una mayor frecuencia de mantenimiento y un control riguroso y preciso del porcentaje de humedad (10 a 14%).

Horno de tambor para carbonización (variante de mayor valor agregado)

- **Principio:** La biomasa se carga en un tambor metálico sellado (un bidón de acero de 200 L) y se calienta externamente mediante fuego de leña o biomasa. Al no haber oxígeno dentro del tambor, la biomasa se piroliza a una temperatura de entre 300 y 500 °C, lo que produce biocarbón sólido (*char*), gases no condensables (CO, H₂, metano) y alquitranes condensables.
- **Construcción del horno de tambor:** Consta de un bidón metálico de 200 L, un tubo de chimenea de 2» con válvula de control y una base de ladrillos. Este diseño puede ser fabricado por estudiantes en un taller de soldadura de 8 horas. La temperatura interna se estima a partir del color y la apariencia del gas de la chimenea.
- **Productos del horno:** Biocarbón (del 25 al 35% de la masa inicial en base seca); gases combustibles no condensables (del 15 al 25%, utilizables como combustible si se canalizan hacia el quemador del horno); alquitranes y condensados (del 10 al 20%, un subproducto que requiere una gestión cuidadosa).

3.5. Control de calidad del producto terminado

- **Densidad aparente de la briqueta:** Relación masa/volumen calculado por dimensiones métricas (peso en balanza / $\pi r^2 L$). El valor mínimo esperado es de 600 kg/m³.
- **Índice de durabilidad mecánica (PDI simplificado):** Cargar 100 g de briquetas en un tubo de PVC de Ø 100 mm, dejar caer el tubo 5 veces desde 1 m de altura y pesar los finos (inferior a 5 mm) generados. El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación: $PDI = (masa\ original - masa\ de\ finos) / masa\ original \times 100\%$.

El valor mínimo aceptable es de 85%.

- **Contenido de humedad de la briqueta terminada:** Pesada antes y después del secado a 105 °C durante 1 h. El valor máximo aceptable es de 14%.
- **Poder calorífico estimado:** Calculado por la fórmula de Dulong simplificada o mediante la corrección por humedad del PCS de la biomasa seca (ver §A.6.3). El valor de referencia para briquetas de madera seca es de $PCI \geq 14\ MJ/kg$.

3.6. Diseño y construcción de los equipos de bajo costo

Esta sección describe detalladamente los aspectos constructivos de los tres equipos principales, priorizando el uso de materiales de disponibilidad local y su fabricación mediante herramientas básicas de taller (soldadora eléctrica, esmeril, taladro de columna y el soporte de un tornero local).

Prensa hidráulica de gato: especificaciones constructivas

- **Marco:** Perfil cuadrado de 50503 mm de acero al carbono, soldado en H, con una altura libre entre platos de 40 a 50 cm y patas estabilizadoras con niveladores.
- **Gato hidráulico:** Botella de 10 t de segunda mano (disponible en tiendas de herramientas), con una capacidad de fuerza máxima $\approx 100\ kN$. Se instala de forma invertida, fijando el gato en la parte inferior con el plato de presión en el parte superior unido al émbolo.
- **Moldes intercambiables:** Tubo de acero (SCH-40) de 2» (Ø interior de aprox. 52 mm) o 3» (Ø interior de aprox. 77 mm), con una longitud de 150 a 200 mm; pistón de compresión torneado en acero SAE 1020 del mismo diámetro interior; placa de fondo desmontable para extracción de la briqueta.
- **Costo estimado de materiales:** De 500 a 900 Bs (incluye gato de segunda mano, acero de sección y tubo de acero). El torneado del pistón puede realizarse en el taller de Mecánica del ITT.

Molde de briqueta estufa tipo TL (tulipero) de tubo de PVC

- **Descripción:** Molde de tubo de PVC de Ø 100 mm con pistón de madera dura y mandril central de PVC de Ø 20 mm, para producir briquetas con orificio central (tipo dona), que mejora la combustión.
- **Operación:** Llenar el molde con biomasa húmeda, presionar con el pistón de madera usando la prensa hidráulica, extraer la briqueta húmeda y secar al sol de 24 a 48 h antes de usar.
- **Costo:** Menor a 50 Bs (tubos de PVC y madera de desecho). Recomendado como primera práctica de compactación por su extrema simplicidad constructiva.

Horno de tambor de carbonización con especificaciones constructivas

- **Cuerpo:** Bidón metálico de 200 L (tambor de aceite o “bombona” de segunda mano), tapa superior con sello de arena o arcilla para asegurar hermeticidad.
- **Chimenea:** Tubo de acero galvanizado de 2» (50 mm), de 80 a 120 cm de longitud y con válvula esfera de cierre para el control del tiraje.
- **Estructura de base:** Ladrillos refractarios o bloques de arcilla que forman una cámara de combustión externa de 60 cm de alto; con una distancia de 15 a 20 cm entre la llama y el tambor.
- **Carga:** De 40 a 60 kg de biomasa seca por ciclo (llenar el tambor al 80% de su capacidad en volumen).
- **Ciclo de operación:** Encendido de la cámara externa con biomasa residual (no la biomasa a carbonizar). El tiempo de carbonización es de 2 a 4 h según tipo de biomasa, y el criterio de finalización es el cese de la llama visible en la chimenea, además del cambio de color del gas de chimenea, que se torna incoloro.
- **Costo estimado:** De 200 a 500 Bs (bidón de segunda mano, ladrillos, tubo y válvula).

4. Descripción detallada del proceso

El proceso se organiza en seis etapas consecutivas, las cuales abarcan desde la recolección inicial de la biomasa hasta el control de calidad y la distribución final del producto terminado. A lo largo del flujo, se describe la ruta principal para la elaboración de las briquetas de biomasa cruda, detallando además las indicaciones específicas y variantes necesarias para la producción de briquetas de carbón.

4.1. Etapa 1: Recolección y caracterización de la biomasa

- Definir las fuentes de biomasa disponibles en el ITT (taller de carpintería, jardinería, cafetería) y en el entorno inmediato (carpinterías, mercados, municipio).
- Recolectar la biomasa en costales o sacos y seleccionar por tipo (aserrín, viruta, paja, cascarilla), pesar cada lote.
- Determinar la humedad inicial de cada tipo de biomasa por el método gravimétrico, consiste en pesar una muestra de 100 a 200 g, secar en horno a 105 °C durante 1 hora y volver a pesar:

$$M_{bh} = \frac{m_{húmeda} - m_{seca}}{m_{húmeda}}$$

- Inspeccionar el lote para detectar contaminantes (plásticos, metales, vidrios, tierra excesiva). Retirar los mismos manualmente o con tamiz grueso de 25 mm.

4.2. Etapa 2: Secado y tritución

- Si $M_{bh} > 20\%$, extender la biomasa en capa delgada sobre lona, cartón o malla en zona con buena ventilación solar. Voltear la capa cada 4 a 6 horas para lograr un secado uniforme. En clima altiplánico seco, el aserrín puede alcanzar 12% de humedad en 1 a 2 días.
- Si $M_{bh} < 8\%$, humedecer uniformemente con pulverizador de agua hasta alcanzar 12%, revolver y dejar reposar durante 30 min para distribución homogénea.
- Triturar o desmenuzar piezas superiores a 25 mm (astillas, podas, cartón) con trituradora o martillo de madera hasta alcanzar el tamaño objetivo (5 a 25 mm para briquetas e inferior a 4 mm para pellets).
- Tamizar con criba de 25 mm (briquetas) o de 4 mm (pellets) para descartar piezas fuera de rango. Los finos inferiores a 1 mm pueden mezclarse con partículas más gruesas en proporción máxima de 20%.

4.3. Etapa 3: Preparación de la mezcla (con o sin ligante)

Para biomásas con alto contenido de lignina (maderas duras, mezcla aserrín y viruta):

- **Sin ligante:** La lignina activada por la temperatura y la presión es suficiente para la cohesión. Cargar la biomasa directamente en el molde.

Para biomásas con bajo contenido de lignina o mezclas que incluyen paja, cascarilla o cartón (lignina < 18%):

- **Ligante de almidón gelatinizado:** Disolver 5 g de almidón de yuca o fécula de maíz (Maizena) en 100 mL de agua fría, calentar hasta la ebullición de la mezcla y obtener un gel traslúcido, enfriar e integrar en proporción del 5 a 8% de la masa de biomasa seca.

- **Ligante de melaza:** Diluir la melaza de caña con agua caliente en proporción 1 a 2 (1 parte melaza y 2 partes agua); mezclar con la biomasa en proporción del 5 a 8%. La melaza aporta también calorías al combustible.
- **Ligante de arcilla fina:** La mezcla de arcilla tamizada (< 0,5 mm) en proporción del 5 a 10% produce briquetas resistentes a la lluvia, pero de menor PCI. Usar como último recurso.

Mezclar el ligante con la biomasa en un recipiente o bandeja de madera hasta lograr una uniformidad visual. El material listo para el prensado debe mantener su consistencia compacta al apretarlo firmemente con la mano, sin llegar a escurrir líquido.

4.4. Etapa 4: Compactación en prensa

4.4.1. Compactación en prensa hidráulica de gato (ruta principal)

- Lubricar el interior del molde con una gota de aceite vegetal o pasar una tela impregnada en grasa de litio (facilita el desmolde).
- Pesar la cantidad de biomasa a cargar en el molde. Para un molde de Ø 52 mm y longitud objetivo de 120 mm, la masa estimada se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$= \pi \times (0,026)^2 \times 0,12 \text{ m} \times 750 \text{ kg/m}^3 \approx 190 \text{ g.}$$

- Cargar la biomasa en el molde y asentar ligeramente con el pistón, hacerlo antes de aplicar la presión del gato.
- Activar el gato hasta alcanzar la presión de diseño (lectura del manómetro del gato). Mantener la presión durante 60 a 90 s (permite la relajación viscoelástica del material).
- Liberar la presión gradualmente mediante la válvula de descarga. Retirar el pistón y extraer la briqueta, ya sea a través de la base desmontable del molde o empleando la varilla de expulsión.
- Depositar la briqueta caliente sobre la malla o el tablero para su enfriamiento y curado al aire (mínimo 2 h antes del apilamiento para evitar deformaciones estructurales).
- Registrar en la planilla la fecha, el tipo de biomasa, la humedad inicial, la masa de entrada, el número de briquetas producidas, la temperatura del molde si se usa calefacción.

4.4.2. Compactación en prensa de tornillo (ruta de demostración)

- Cargar la biomasa preparada en el molde. Colocar el pistón encima.
- Girar el husillo con la manivela o la palanca hasta sentir resistencia creciente. Continuar hasta que el husillo no avance más.
- Mantener la posición durante 60 s. Desatornillar gradualmente para liberar la presión.
- Retirar la briqueta y registrar el número de vueltas necesarias para la compresión total (indicador indirecto de la compresión lograda).

4.5. Etapa 5: Secado y curado del producto

Las briquetas recién prensadas contienen aún parte de la humedad del proceso y los puentes de lignina no han terminado de solidificarse. El curado es indispensable para alcanzar la resistencia mecánica final:

- **Curado al aire:** Extender las briquetas sobre malla elevada (circulación de aire por debajo) en zona sombreada y ventilada. El tiempo mínimo es de 24 h en clima seco y de 48 a 72 h en clima húmedo o altiplánico con heladas nocturnas.
- **Curado en horno:** Secar a una temperatura de 60 a 80°C durante 4 a 6 h para una producción rápida. Evitar temperaturas superiores a 100°C durante el curado (puede generar microfisuración por liberación brusca de vapor).
- **Criterio de curado completo:** La briqueta suena hueca y dura al golpe con el nudillo, pierde menos del 2% de masa adicional en 24 h al aire bajo cubierta.

4.6. Etapa 6: Variante de carbonización: briquetas de carbón

Para producir briquetas de carbón, primero se carboniza la biomasa en el horno de tambor, seguidamente se muele el biocarbón y se prensa con ligante. Esta variante produce un combustible de mayor PCI y menor emisión de humo, pero requiere mayor tiempo y gestión de los gases de carbonización.

- Cargar la biomasa seca en el horno de tambor (de 40 a 60 kg). Sellar con la tapa.
- Encender el fuego en la cámara externa con biomasa de menor calidad. Mantener la combustión externa de 2 a 4 h.
- Cuando el gas de la chimenea se vuelve incoloro y la llama se extingue, cerrar la válvula de la chimenea y dejar enfriar el tambor durante 8 a 12 h mínimo antes de abrir (evitar el riesgo de ignición del biocarbón caliente en contacto con el aire).
- Extraer el biocarbón, pesar (el rendimiento esperable es de 25 a 35% de la masa de biomasa seca inicial) y moler hasta lograr un tamaño inferior a 4 mm.
- Mezclar el biocarbón molido con ligante de almidón gelatinizado (8 a 12% de la masa) y agua en una cantidad suficiente para alcanzar una pasta moldeable.
- Prensar en los mismos moldes de la prensa hidráulica a presión reducida (30 a 80 MPa, la pasta de biocarbón es más fácil de comprimir).
- Curar las briquetas de carbón al sol durante 2 a 4 días hasta lograr una humedad inferior al 10%.

5. Diagramas de bloques del proceso

5.1. Diagrama global de entradas y salidas: Briquetas de biomasa cruda

Esquema de entradas y salidas del proceso de densificación de biomasa en briquetas.

ENTRADAS (materia y energía)	PROCESO (densificación mecánica)	SALIDAS (productos y residuos)
- Biomasa lignocelulósica (aserrín, paja, cáscaras, viruta, podas). - Agua (para ajuste de humedad o dilución de ligante). - Ligante (almidón, melaza o arcilla- opcional). - Energía mecánica: trabajo manual de prensado o motor de trituradora. - Energía térmica (si se usa prensa caliente o curado en horno).	1. Secado / ajuste de humedad (objetivo: 10 a 15%) 2. Trituración y clasificación (5 a 25 mm para briquetas) 3. Mezcla con ligante (si es necesario) 4. Compactación en prensa (50 a 200 MPa, molde cilíndrico) 5. Curado y secado (24 a 72 h al aire o en horno)	Producto principal: - Briquetas de biomasa (densidad $\geq 600 \text{ kg/m}^3$, humedad $\leq 14\%$). Residuos y pérdidas: - Agua evaporada durante el secado. - Finos de trituración no recuperables ($< 1 \text{ mm}$, $< 3\%$). - Rebabas de los moldes (retornan al proceso). Variante de valor agregado: - Biocarbón sólido (si hay carbonización previa: PCI 25 a 30 MJ/kg). - Gases de carbonización no condensables (combustibles).

5.2. Diagrama operativo por etapas con puntos de control

Flujo operativo de la producción de briquetas con puntos de control y decisión.

N°	Bloque operativo	Operaciones y variables	Punto de control / decisión
1	Recolección y caracterización	Recolectar biomasa por el tipo. Pesar el lote y determinar la humedad gravimétrica (muestra de 100 g, horno $105^\circ\text{C} \times 1 \text{ h}$).	¿M_bh > 20%? → secar antes de cualquier paso. ¿Contaminantes? → retirar manualmente o tamizar en criba 25 mm.
2	Secado y ajuste de humedad	Extender en capa delgada al sol o en horno a una temperatura de 60 a 80°C . Medir M_bh periódicamente cada 2 h.	¿M_bh entre 10 y 15 %? → continuar. ¿M_bh < 8 %? → humedecer uniformemente a 12%. ¿M_bh > 20% después del secado? → extender el tiempo de secado.
3	Trituración y clasificación granulométrica	Triturar piezas > 25 mm. Tamizar con criba de 25 mm. Separar finos < 1 mm.	¿Piezas > 25 mm en el tamiz? → retornar a trituradora. ¿Finos < 1 mm > 20% de la masa? → mezclar con partículas más gruesas antes de continuar.
4	Preparación de la mezcla (ligante si es necesario)	Evaluar cohesión de prueba: presionar puñado de biomasa húmeda con la mano 10 s. Si mantiene forma → sin ligante. Si se desmorona → preparar ligante.	¿Biomasa retiene forma sin ligante? → saltar al paso 5. ¿Se desmorona? → preparar gel de almidón (5 g/100 mL agua) y mezclar de 5 a 8% de la masa seca.
5	Compactación en prensa	Lubricar el molde y pesar la carga por molde. Cargar y aplicar presión (utilizar el gato hasta tope del manómetro). Mantener de 60 a 90 s. Liberar y extraer briqueta.	¿Briqueta se desintegra al salir del molde? → (a) aumentar la presión, (b) bajar la humedad, (c) agregar el ligante, (d) calentar molde a una temperatura de 80 a 100°C . ¿Rebaba excesiva? → reducir la cantidad de carga por ciclo.
6	Curado y secado	Extender sobre la malla ventilada. Dejar secar de 24 a 72 h al aire libre. Verificar cohesión a las 2 h y a las 24 h.	¿Briqueta blanda o deformada a las 2 h? → aplicar calor suave (horno $60^\circ\text{C} \times 2 \text{ h}$). ¿Grietas en la superficie durante el secado? → reducir la velocidad de secado (cobertura parcial con tela).
7	Control de calidad	Medir densidad aparente. Aplicar prueba PDI simplificada y medir humedad final. Registrar resultados en la planilla.	¿Densidad < 600 kg/m^3 ? → aumentar presión de compactación en el siguiente lote. ¿PDI < 85%? → revisar humedad y ligante. ¿Humedad > 14%? → continuar el curado.
8	Envasado, etiquetado y almacenamiento	Apilar las briquetas aprobadas. Pesar el lote final. Calcular el rendimiento. Etiquetar identificando el tipo de biomasa, la fecha y los datos de calidad.	$\eta_m = \text{masa briquetas} / \text{masa biomasa entrada}$. ¿ $\eta_m < 80\%$? → revisar pérdidas en trituración y molde.

6. Balances de materia y energía simplificados

Los balances permiten planificar la producción, estimar el poder calorífico real del producto y evaluar la viabilidad energética del proceso. Se realizan con calculadora científica, no requieren software.

6.1. Determinación experimental de la humedad

La humedad en base húmeda (M_{bh}) se determina por el método gravimétrico:

$$M_{bh} (\%) = [(m_{\text{húmeda}} - m_{\text{seca}}) / m_{\text{húmeda}}] \times 100$$

La humedad en base seca (M_{bs}), que se usa en los cálculos de energía por kilogramo de materia seca, es:

$$M_{bs} (\%) = [(m_{\text{húmeda}} - m_{\text{seca}}) / m_{\text{seca}}] \times 100$$

La relación entre ambas es: $M_{bh} = M_{bs} / (1 + M_{bs} / 100) \times 100$

Ejemplo: muestra de aserrín verde

$m_{\text{húmeda}} = 150,0 \text{ g}$; m_{seca} (después de $105^\circ\text{C} \times 1 \text{ h}$) = $127,5 \text{ g}$

$$M_{bh} = (150,0 - 127,5) / 150,0 \times 100 = 15,0\%$$

$$M_{bs} = (150,0 - 127,5) / 127,5 \times 100 = 17,6\%$$

→ El aserrín está en el rango aceptable para la compactación directa ($M_{bh} \leq 20\%$). Se puede procesar sin secado adicional, aunque lo óptimo sería reducir a 12%.

6.2. Balance global de materia

El balance de materia del proceso de densificación, en base húmeda, es:

$$m_{\text{biomasa, entrada}} = m_{\text{briquetas}} + m_{\text{agua, evaporada}} + m_{\text{finos}} + m_{\text{rebabas}}$$

El rendimiento másico del proceso (η_m), que expresa la fracción de la biomasa de entrada convertida en briquetas terminadas, se calcula como:

$$\eta_m = m_{\text{briquetas}} / m_{\text{biomasa, entrada}} \times 100\%$$

Para un proceso bien controlado, los valores esperados son:

Condición del proceso	η_m esperado	Pérdidas principales	Recomendación
Aserrín o viruta de madera dura, M_{bh} inicial 15%, sin ligante.	82 al 90 %	Agua evaporada (8%) + finos (2 al 3%) + rebabas (1 al 2%)	La pérdida dominante es el agua evaporada en el curado. Reportar η_m en base seca para comparaciones técnicas.
Paja o cascarilla con ligante de almidón (5%).	78 al 86 %	Agua evaporada (10%) + finos (3 a 4%) + rebabas (2%)	El ligante agrega masa al producto, pero también agua; optimizar la concentración del gel de almidón.
Biocarbón molido con ligante de almidón (10 %) — briquetas de carbón.	65 al 75% (respecto a la biomasa inicial)	Pérdida en carbonización (35 a 40% de la biomasa en gases y alquitranes) + agua del ligante (10%)	El bajo rendimiento másico se compensa con el alto PCI del producto (25 a 30 vs. 14 a 17 MJ/kg).

6.3. Estimación del Poder Calorífico Inferior (PCI) de las briquetas

El PCI de la biomasa seca puede estimarse a partir de su composición (análisis inmediato), mediante la fórmula de Dulong simplificada para biomasa:

$$PCS_{bs} \text{ (MJ/kg)} \approx 0,3491 \times C + 1,1783 \times H - 0,1034 \times O - 0,0151 \times N + 0,1005 \times S$$

Donde C, H, O, N, S son las fracciones másicas en base seca (adimensionales) de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, respectivamente. Para la mayoría de las biomásas lignocelulósicas, los valores típicos son $C \approx 0,50$; $H \approx 0,06$; $O \approx 0,43$; $N \approx 0,01$; $S \approx 0,00$, dando un $PCS_{bs} \approx 18,5\text{--}19,5$ MJ/kg.

Cuando no se dispone del análisis elemental, se usa la corrección por humedad y cenizas a partir del PCS de referencia de la biomasa:

$$PCI_{real} \text{ (MJ/kg bh)} = PCS_{bs} \times (1 - M_{bh}/100 - A_{bs}/100 \times (1 - M_{bh}/100)) - 2,442 \times M_{bh}/100$$

Donde PCS_{bs} es el poder calorífico superior en base seca (MJ/kg); M_{bh} es la humedad en base húmeda (fracción de la briketa terminada, no de la materia prima); A_{bs} es el porcentaje de cenizas en base seca; y 2,442 es el calor latente de vaporización del agua a 25°C (MJ/kg).

Ejemplo numérico completo: briquetas de aserrín de pino

Datos de la biomasa seca: $PCS_{bs} = 19,0$ MJ/kg (valor de referencia para pino). Cenizas = 0,8% en base seca. Briketa terminada con $M_{bh} = 12\%$.

Paso 1 – PCI de la briketa terminada:

$$PCI = 19,0 \times (1 - 0,12 - 0,008 \times 0,88) - 2,442 \times 0,12$$

$$PCI = 19,0 \times (1 - 0,12 - 0,007) - 0,293$$

$$PCI = 19,0 \times 0,873 - 0,293 = 16,59 - 0,29 \approx 16,3 \text{ MJ/kg}$$

→ Cada kilogramo de briketa de pino con 12% de humedad entrega 16,3 MJ de calor neto al quemador.

Paso 2 – Producción de energía para un lote de 50 kg de briquetas:

$$E_{lote} = 50 \text{ kg} \times 16,3 \text{ MJ/kg} = 815 \text{ MJ} = 226 \text{ kWh}$$

Equivale a ≈ 23 kg de GLP ($PCI_{GLP} \approx 46$ MJ/kg) o a ≈ 60 kg de leña seca ($PCI_{leña} \approx 14$ MJ/kg).

Paso 3 – Planificación: ¿cuánta biomasa húmeda se necesita para producir 50 kg de briquetas?

Si M_{bh} inicial del aserrín = 20% y $\eta_m = 85\%$:

$$m_{entrada} = m_{briquetas} / \eta_m = 50 / 0,85 = 58,8 \text{ kg de aserrín húmedo}$$

→ Se necesitan aproximadamente 59 kg de aserrín tal como se recolecta para producir 50 kg de briquetas terminadas.

6.4. Balance de la carbonización en horno de tambor

El rendimiento de la carbonización (η_{carb}) se define como la fracción de la masa de biomasa seca de entrada que se convierte en biocarbón sólido:

$$\eta_{\text{carb}} = m_{\text{biocarbón}} / m_{\text{biomasa,bs}} \times 100\% \rightarrow \text{Valor típico: 25 a 35\%}$$

El balance de carbono de la carbonización es:

$$C_{\text{biomasa}} = C_{\text{biocarbón}} + C_{\text{gases}} + C_{\text{alquitranes}}$$

El biocarbón concentra el carbono fijo de la biomasa. Si la biomasa tiene un carbono fijo de 15% (en base seca, análisis inmediato) y el biocarbón tiene un carbono fijo de 70 a 80%, el balance de carbono consistente con un rendimiento másico de 30% es:

$$C_{\text{biocarbón}} = m_{\text{biocarbón}} \times FC_{\text{biocarbón}} = 0,30 \times 0,75 = 0,225 \text{ kg C por kg biomasa bs}$$

$$C_{\text{biomasa}} = m_{\text{biomasa}} \times FC_{\text{biomasa}} = 1,0 \times 0,15 = 0,15 \dots (\text{balance: C en gases y alquitranes} = 0,15 - 0,225 < 0 \rightarrow \therefore FC_{\text{biocarbón}} \text{ corregido a 50\% para } \eta_{\text{carb}} = 30\%)$$

Nota sobre el balance de carbonización

El balance de carbonización depende de la temperatura del proceso y del tipo de biomasa utilizada. A temperaturas más altas (450 a 500 °C), el biocarbón presenta un mayor contenido de carbono fijo (superior al 75%), aunque el rendimiento másico disminuye (inferior al 25%).

En cambio, a temperaturas más bajas (300 a 350 °C), el rendimiento másico aumenta (alrededor del 35 %), pero el biocarbón contiene una mayor proporción de materia volátil y un menor contenido de carbono fijo (inferior al 60%), lo que genera una mayor emisión de humo durante la combustión. Para la fabricación de briquetas de uso doméstico en hornos de tambor, la temperatura óptima de carbonización se sitúa entre 350 y 420 °C.

7. Criterios de seguridad operacional

El proceso de densificación de biomasa tiene un perfil de riesgo moderado comparado con los procesos anteriores de la serie. No obstante, existen dos peligros específicos que requieren medidas de control específicas: los riesgos mecánicos de la prensa (atrapamientos y aplastamientos) y los riesgos de la carbonización en horno de tambor (incendio y exposición a gases de pirólisis).

7.1. Identificación de peligros

Categoría	Peligro	Población expuesta	Mecanismo / Prevención
Mecánico - PRENSA	Aplastamiento de manos o dedos bajo el plato de la prensa hidráulica.	Operarios en la carga del molde	NUNCA colocar la mano debajo del plato mientras el gato se encuentre bajo presión. Diseñar el molde con sistema de carga lateral o con embudo guía. Verificar que todas las personas estén alejadas del plato antes de activar el gato.
Mecánico - TRI-TURADORA	Atrapamiento de dedos en el mecanismo de trituración de biomasa.	Operarios en la carga de material	La tolva debe contar con una guarda de seguridad que impida el acceso de las manos. Para la alimentación del material, es obligatorio el uso de un empujador de madera, quedando PROHIBIDO introducir las manos en la tolva mientras el equipo se encuentre en marcha.

Categoría	Peligro	Población expuesta	Mecanismo / Prevención
Térmico - PRENSA CALIENTE	Quemadura por contacto con molde caliente a alta temperatura (80 a 150°C).	Operarios en el desmolde	Es obligatorio el uso de guantes de cuero o térmicos para alta temperatura durante el desmolde de piezas calientes. Debido a que la briqueta recién salida del molde puede superar los 80°C, está PROHIBIDO manipularla de forma directa con las manos sin protección para prevenir quemaduras.
Incendio – CARBONIZACIÓN CRÍTICO	Ignición del biocarbón caliente al abrir el horno antes del enfriamiento completo.	Operarios al abrir el tambor	NUNCA abrir el horno de tambor sin esperar de 8 a 12 h de enfriamiento con la válvula cerrada. El biocarbón a > 200°C se inflama espontáneamente en contacto con el aire. Abrir SOLO cuando el tambor esté frío al tacto exterior.
Químico - GASES CARBONIZACIÓN	Inhalación de gases de pirólisis (CO, alquitranes, humo de biocarbón) durante la operación del horno de tambor	Operarios y personas cercanas al horno durante la carbonización	Operar el horno al aire libre, contra el viento. Mantenerse fuera de la dirección del viento. USAR UNA MASCARILLA con filtro de gases orgánicos (cartucho tipo A) si se opera en espacio semicerrado.
Incendio - BIOMASA SUELTA	Ignición accidental del aserrín u otras biomasa finas por chispa de soldadora o amoladora en el taller.	Toda la comunidad del taller	No almacenar biomasa suelta dentro del taller donde se realizan trabajos con soldadora o amoladora. Almacén separado y techado. Extintor de PQS o CO ₂ accesible en el área de trabajo.
Ergonómico – PRENSA DE TORNILLO	Lesiones de muñeca y hombro por torsión repetitiva en la manivela de la prensa de tornillo.	Operarios en producción prolongada	Diseñar la palanca de manivela con longitud ≥ 50 cm para minimizar el esfuerzo. Limitar turnos continuos de prensado manual a 30 min. Alternar entre operarios.

7.2. EPP requerido por operación

Operación	EPP mínimo requerido
Recolección y manipulación de biomasa	Guantes de algodón o nitrilo, mascarilla de partículas N95 (el aserrín fino es irritante para las vías respiratorias) y calzado cerrado.
Trituración de biomasa	Gafas de seguridad (proyección de fragmentos), mascarilla N95 (partículas finas), guantes de cuero y protección auditiva si la trituradora supera 80 dB.
Compactación en prensa hidráulica	Gafas de seguridad, guantes de cuero en el desmolde de moldes calientes y calzado cerrado con punta reforzada (riesgo de caída del molde cargado).
Carbonización en horno de tambor - CRÍTICO	Mascarilla con filtro de gases orgánicos (cartucho tipo A) durante la encendida y el período de producción de gases visibles; gafas de seguridad; guantes de cuero grueso para manipulación del tambor. Es obligatorio realizar la operación al aire libre y contra el viento.
Apertura del horno y extracción del biocarbón	Guantes de cuero grueso para apertura de la tapa (puede haber calor residual); gafas de seguridad; mascarilla N95 mínimo (polvo de biocarbón es irritante y potencialmente carcinogénico por el contenido de hidrocarburos aromáticos en biocarbón de baja temperatura) y tener acceso a un extintor.

7.3. Protocolos preoperación, durante y posoperación

Checklist preoperación (antes de cada sesión)

- Verificar que el EPP esté completo para todos los miembros del equipo.
- Comprobar el estado de la prensa: manómetro del gato legible, moldes sin grietas y pernos del marco apretados.

- Verificar que no haya trabajos de soldadura o amoladora activos en el área de almacenamiento de biomasa.
- Si se opera el horno de tambor verificar dirección del viento y confirmar la disponibilidad de un extintor PQS o CO₂ y que el horno esté 100 % frío antes de cargarlo (si quedó de una sesión anterior).
- Asegurar la disponibilidad de agua y jabón para el lavado de manos al concluir.

Durante la operación

- **Prensa:** Nunca colocar partes del cuerpo bajo el plato de presión durante la activación del gato. El plato de carga se realiza con la prensa totalmente liberada.
- **Horno de tambor:** Mantener una zona de exclusión de 3 m alrededor del horno durante su operación. En esta área no deben realizarse trabajos con metales ni actividades que generen fuentes de ignición, excepto el fuego controlado de la cámara externa. Ante olor fuerte a alquitranes o humo denso diferente al normal, alejarse del horno hacia el lado contrario al viento y no intentar abrir el horno.
- **Registrar la hora de inicio y de fin del ciclo** de carbonización en el cuaderno de operación.

Posoperación

- **Horno de tambor:** Cerrar la válvula de chimenea y dejar enfriar mínimo de 8 a 12 h antes de abrir. Registrar la hora de cierre.
- **Prensa:** Limpiar el molde con cepillo o escobilla y lubricar con aceite vegetal para la siguiente sesión.
- **Trituradora:** Limpiar con cepillo de alambre y lubricar rodamientos.
- Barrer todos los finos de aserrín del suelo (para evitar el riesgo de resbalón y de ignición).
- **Lavado e manos con agua y jabón.** Si se manipuló biocarbón, realizar el lavado de manos con jabón antes de comer o beber.

Criterios para suspender la sesión: Protocolo de emergencia

Suspender de inmediato toda operación y actuar de acuerdo con el tipo de emergencia en los siguientes casos:

- Principio de incendio en biomasa suelta: sofocar el fuego con arena o un extintor de polvo químico seco (PQS). No utilizar agua sobre grandes cantidades de aserrín en combustión, ya que puede generar vapor y dispersar brasas.
- Biocarbón en combustión al abrir el horno de forma prematura: cerrar inmediatamente el horno, controlar el fuego con arena o tierra y evacuar el área. No aplicar agua directamente sobre el biocarbón caliente dentro del tambor, debido al riesgo de explosión por vapor.
- Lesión por aplastamiento en la prensa: activar el gato de elevación para liberar la presión y solicitar asistencia de los servicios de emergencia. No intentar retirar la extremidad afectada por la fuerza.

Mantener accesibles en el área de trabajo el número de emergencia del ITT, un botiquín de primeros auxilios y un extintor, todos debidamente señalizados.

8. Equipamiento, herramientas e insumos

N°	Ítem	Cantidad	Costo ref. (Bs)	Observación
1	Marco de prensa hidráulica (acero 50×50×3 mm soldado).	1	300 a 500	Proyecto de taller de soldadura de Mecánica Industrial. Incluir el sistema de guía del molde.
2	Gato hidráulico de botella 10 t (de segunda mano).	1	150 a 350	Disponible en desguaces y ferreterías. Constituye el componente de mayor inversión de la prensa
3	Moldes cilíndricos de tubo SCH-40 (Ø 2" y Ø 3") con pistón y placa de fondo.	3–5 ud	80 a 200 c/u	Torneado de pistones en taller del ITT. Tubo de acero disponible en ferreterías.
4	Prensa de tornillo manual (husillo M30, marco soldado, manivela de 50 cm).	1	200 a 400	Más económica que la hidráulica; adecuada para demostración y producción baja.
5	Horno de tambor de carbonización (bidón 200 L + chimenea + base de ladrillos).	1	200 a 500	Para la variante de briquetas de carbón. Requiere espacio exterior y distancia de seguridad de 5 m de estructuras.
6	Trituradora de biomasa de martillos (adaptación de trituradora de granos local) o cuchillas artesanales.	1	600 a 1 500	Puede adaptarse una trituradora de granos disponible en el mercado local añadiendo cuchillas de acero SAE 1045.
7	Balanza de plataforma (≥ 20 kg, resolución 50 g).	1	300 a 600	Indispensable para el balance de materia y el cálculo del rendimiento.
8	Horno o estufa de secado artesanal (cámara de madera con bombilla incandescente de 100 W o resistencia eléctrica de 200 W).	1	100 a 250	Construible con caja de madera, resistencia, termostato y bandeja de malla. Para determinar la humedad y realizar el curado rápido.
9	Tamiz metálico de 25 mm abertura, 40 × 60 cm	1	80 a 150	Construible con malla de acero galvanizado y marco de madera.
10	EPP por estudiante (guantes de cuero, mascarilla N95, gafas de seguridad y calzado cerrado).	4 a 6 kits	80 a 150 c/u	Mascarilla N95 imprescindible para protección contra polvo de aserrín y biocarbón.
11	Extintor de PQS de 6 kg en área de trabajo o de arena (balde) en área del horno de tambor.	1	250 a 450	OBLIGATORIO antes de iniciar la carbonización. El balde de arena es alternativa aceptable para el área del horno.

Costo total estimado del equipamiento: entre 1 800 Bs (sólo prensa hidráulica artesanal con gato de segunda mano + moldes + accesorios de compra) y 4 500 Bs (conjunto completo con trituradora, horno de tambor, tamices e instrumentación). Es el PIA que requiere la menor inversión en equipamiento de toda la serie.

9. Criterios e instrumentos de evaluación

Dimensión	Peso	Instrumento sugerido
Saber (conocimiento)	25%	Examen escrito (40 min): composición de la biomasa y función de la lignina, diferencias briquetas vs. pellets, efecto de la humedad sobre la cohesión y el PCI, cálculo de humedad por gravimetría y estimación del PCI por la fórmula simplificada.
Saber hacer – Fabricación del equipo	25%	Rúbrica de construcción (8 ítems): dimensiones del marco, calidad de soldaduras, funcionamiento del sistema de molde intercambiable, prueba de presión en vacío y sistema de extracción de briqueta.
Saber hacer – Producción y calidad	30%	Rúbrica de producción (12 ítems): determinación de humedad, secado al rango objetivo, trituración y granulometría, preparación del ligante si corresponde, ciclos de prensado registrados, densidad aparente del producto, PDI, humedad de la briqueta terminada y rendimiento másico calculado. Presentación del producto terminado.
Saber ser (actitudinal)	20%	Cumplimiento del protocolo de seguridad mediante un checklist firmado en cada sesión, incluyendo la verificación de la presencia del extintor antes del encendido durante la sesión de carbonización; coevaluación del trabajo en equipo; y presentación del producto y del informe de producción ante la comunidad educativa.

10. Materiales complementarios sugeridos

- **Tabla de referencia plastificada «Humedad y PCI por tipo de biomasa»:** Incluye los valores de M_{bh} objetivo, PCS_{bs} y densidad aparente suelta para los seis sustratos más comunes (aserrín de pino, viruta de eucalipto, paja de cebada, cascarilla de quinua, rastrojos de maíz y cartón triturado). Debe colocarse sobre la prensa del taller.
- **Planilla de producción (impresa, sin software):** Contiene las columnas de fecha, tipo de biomasa, M_{bh} inicial (%), M_{bh} final de la briqueta (%), masa de entrada (kg), número de briquetas producidas, masa total de briquetas (kg), η_m (%), densidad aparente media, PDI (%) y observaciones.
- **Cartel de seguridad del horno de tambor (formato A2, plastificado e instalado en el área exterior):** Incluye el tiempo mínimo de espera antes de la apertura (8–12 h), el diagrama de la posición de operación respecto al viento, el teléfono de emergencia y el pictograma del extintor.
- **Planos simplificados de la prensa hidráulica y del horno de tambor (formato A3 imprimible):** Incluyen la lista de materiales con dimensiones disponibles en ferreterías locales, así como instrucciones de soldadura y ensamblaje paso a paso.

Nota final para el docente

Este Anexo complementa el desarrollo del Proceso Integrador sobre densificación de biomasa. Con el menor costo de equipamiento de toda la serie de PIAs y utilizando como materia prima los residuos generados en los talleres de Construcción Civil o Carpintería del ITT, este proceso constituye la alternativa más accesible para producir un biocombustible con valor de mercado inmediato

ANEXO 4

Procesos prácticos de la Unidad 3 Guía de complementación curricular sobre Reciclaje Mecánico de Plásticos

Proceso práctico N° 3

1. Identificación del proyecto integrador

Proyecto Integrador de Aula N° 3: Reciclaje mecánico de plásticos posconsumo por extrusión, inyección y compresión.	
Denominación	
Unidad temática de inserción	UT-3: Valorización y aprovechamiento de residuos.
Unidades de Competencia vinculadas	UCB-2: Valorización UCB-5: Innovación y emprendimiento UC de Mecánica Industrial y Electromecánica Industrial: Diseño de equipos UC de Química Industrial: Caracterización de materiales UC de Electricidad Industrial: Sistemas eléctricos de control
Carga horaria sugerida	56 horas pedagógicas distribuidas en: 10 h de teoría, 20 h de construcción de equipos, 16 h de operación y producción, 6 h para el control de calidad y evaluación y 4 h de presentación del proyecto. Sin período de seguimiento longitudinal, ya que la producción es inmediata, a diferencia de los procesos biológicos.
Modalidad	Proyecto integrador interdisciplinario entre las carreras de Mecánica Industrial, Química Industrial y Electricidad Industrial (como mínimo) orientado a la producción por lotes y con entrega del producto terminado al finalizar el proyecto.
Nivel de competencia	Nivel 2: Aplicación (operación del proceso) con elementos de Nivel 3: Gestión (diseño y fabricación del equipamiento).

2. Objetivos de aprendizaje

Los objetivos de aprendizaje se formulan en términos de resultados de aprendizaje observables y evaluables, considerando las tres dimensiones competenciales: saber (conocimiento conceptual), saber hacer (habilidades procedimentales) y saber ser (actitudes y valores).

2.1. Objetivo general

Objetivo general del Proyecto Integrador

Al concluir el Proyecto Integrador, las y los estudiantes serán capaces de seleccionar, preparar, procesar y conformar plásticos termoplásticos posconsumo mediante, al menos uno de los tres métodos de conformado (extrusión, inyección o compresión), utilizando equipos de bajo costo contruidos en el propio taller del ITT, aplicando balances de materia simplificados, asegurando la calidad del producto terminado y el cumplimiento de los criterios de seguridad asociados al manejo de polímeros a altas temperaturas.

2.2. Objetivos específicos por dimensión competencial

Saber: dimensión conceptual

1. Distinguir los principales tipos de plásticos termoplásticos (PET, HDPE, LDPE, PP, PS) por sus propiedades térmicas y mecánicas, identificarlos por el código SPI y justificar su compatibilidad o incompatibilidad en el proceso.
2. Explicar el fundamento físico de la termoplasticidad y la viscoelasticidad como base del procesamiento mecánico de plásticos, incluyendo los conceptos de transición vítrea, temperatura de fusión e índice de fluidez.
3. Describir los principios de operación de la extrusora de husillo simple, la máquina de inyección artesanal y la prensa de compresión, identificando los sistemas mecánico, térmico y eléctrico de cada equipo.
4. Justificar la importancia de la preparación del material (limpieza, secado, granulometría) como condición previa al procesamiento, relacionando los defectos del producto con fallas en la preparación.
5. Identificar los defectos más comunes en productos fabricados con plástico reciclado (burbujas, líneas de flujo, porosidad, quemado) y relacionarlos con sus causas operativas.
6. Reconocer los peligros asociados al procesamiento de plásticos a altas temperaturas tales como la degradación térmica, la emisión de gases, las quemaduras y los riesgos eléctricos.

Saber hacer: dimensión procedimental

7. Clasificar manualmente un lote de plásticos posconsumo por código SPI, aplicando pruebas de campo (flotación, doblado, llama con EPP).
8. Limpiar, secar y triturar el plástico clasificado hasta obtener un material de granulometría adecuada para el proceso seleccionado (5–15 mm).
9. Participar en la construcción de al menos uno de los equipos de bajo costo (tritadora, extrusora o prensa), siguiendo los planos simplificados del taller, bajo supervisión del docente de Mecánica o Electricidad Industrial.
10. Operar el equipo asignado respetando los perfiles de temperatura de la resina procesada, ajustando los parámetros según el comportamiento observado del material.
11. Desmoldar, inspeccionar y registrar los productos obtenidos, identificando los defectos presentes y proponiendo las correcciones operativas correspondientes.

12. Aplicar el balance de materia simplificado para estimar el rendimiento másico del proceso y compararlo con el valor teórico.

Saber ser: dimensión actitudinal

13. Valorar el plástico posconsumo como materia prima con potencial productivo, rechazando la idea de que es exclusivamente un residuo de disposición final.
14. Demostrar disciplina en el respeto de los perfiles de temperatura y en el uso del EPP, reconociendo que las quemaduras y los gases de degradación son consecuencias directas de la negligencia operativa.
15. Asumir la responsabilidad de fabricar y mantener los equipos del taller como parte de la identidad técnica del ITT y como evidencia concreta de la formación recibida.
16. Trabajar de forma colaborativa en la cadena de producción (clasificación → preparación → procesamiento → control de calidad → presentación), admitiendo que la calidad del producto final depende de cada eslabón.

Tip didáctico para docentes

La fabricación de estos equipos constituye en sí misma un Proyecto Integrador de gran valor. Se recomienda que la construcción de la trituradora y de la prensa de compresión se asigne como proyecto semestral en la carrera de Mecánica Industrial, bajo la supervisión de Electricidad Industrial para el sistema de potencia y control. La sinergia intercarreras y el sentido de propiedad sobre el equipo construido operan aquí como motivadores pedagógicos de primer nivel.

3. Contenidos teóricos mínimos

Los contenidos se estructuran en seis bloques progresivos. Los bloques A.3.1 a A.3.3 se desarrollan antes de la construcción de los equipos; los bloques A.3.4 a A.3.6, en paralelo con la operación y el control de calidad.

3.1. Marco conceptual y normativo

- El plástico en la jerarquía de la gestión de residuos conforme a la Ley 755: prevención → reutilización → reciclaje mecánico → reciclaje químico → valorización energética → disposición final.
- Plásticos de un solo uso y plásticos de larga duración: diferencias en su gestión al fin de vida útil.
- El sistema de códigos SPI (*Society of the Plastics Industry*): propósito, limitaciones y complementariedad con pruebas de identificación en campo.
- Economía circular: comparación entre modelo de producción lineal y el modelo circular, y su aplicación al flujo de plásticos en el contexto del ITT.

- Vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 11, 12 y 14: ciudades y comunidades sostenibles, producción y consumo responsables, y vida submarina.

3.2. Ciencia de polímeros aplicada al reciclaje

- Definición de polímero, monómero, grado de polimerización y peso molecular. Diferencias entre termoplásticos, termoestables y elastómeros como fundamento para la selección del proceso de transformación.
- Temperatura de transición vítrea (T_g) y temperatura de fusión (T_m): definición, valores típicos según el tipo de resina y su importancia para el procesamiento de los plásticos.
- Índice de Fluidez en Masa (MFI, *Melt Flow Index*): definición, unidades (g/10 min), rangos típicos y su relevancia para la selección de la presión de inyección o la velocidad de extrusión.
- Degradación térmica de polímeros: mecanismos (oxidación, escisión de cadenas), manifestaciones visibles (color amarillo o marrón, humo y olor), productos potencialmente tóxicos (HCl del PVC, estireno del PS) e implicaciones para la ventilación del área de trabajo.
- Efecto del número de ciclos de reciclado sobre las propiedades mecánicas, asociado a la reducción de peso molecular, e Identificación visual de materiales altamente degradados por cambios de color (amarillo/marrón) y fragilidad.

3.3. Preparación del material

- **Recolección y preclasificación:** Puntos de acopio en el ITT, separación por tipo de envase, inspección de contaminantes (residuos de alimentos, etiquetas de papel, tapas de resina diferente).
- **Limpieza:** Lavado con agua y detergente, enjuague y separación de etiquetas. No es necesario retirar toda la etiqueta, pero sí los residuos alimentarios que generan gases al fundir.
- **Secado:** Exposición al sol (2 a 4 h) o en horno de 60 a 80 °C (1 a 2 h). Crítico para PET, requiere secarse a una temperatura de 100 a 120 °C durante 4 h para bajar la humedad por debajo de 0,02 % y evitar hidrólisis en el fundido.
- **Trituración:** Mediante un mecanismo de tijeras entrelazadas (*shredder*) o de cuchillas, hasta obtener un tamaño de partícula de 5 a 15 mm. Posteriormente, realizar la clasificación utilizando un tamiz de 15 mm de abertura.
- **Almacenamiento del triturado:** Hacerlo en bolsas o envases cerrados y secos para evitar una rehumectación. Realizar la clasificación por tipo de resina y color.

3.4. Principios y parámetros de operación de los equipos

- **Extrusora de husillo simple (tipo *Precious Plastic*)**

- **Componentes:** tolva de alimentación, barril de acero con zonas de calefacción (resistencias de banda), husillo de Arquímedes y boquilla intercambiable (dado).
- **Perfil de temperatura por zonas:** zona de alimentación (T más baja, evita fusión prematura), zona de compresión (T media, plastificación) y zona de dosificación (T más alta, homogeneización). Para HDPE de 180 a 200 a 220 °C y para PP de 190 a 210 a 230 °C.
- **Relación longitud/diámetro del husillo (L/D):** 20 a 25 es el estándar mínimo para buena plastificación. Roscas del husillo: paso, profundidad del canal y ángulo de hélice afectan la compresión y el cizallamiento.
- **Productos de extrusión directa:** hilo de plástico para trenzado o relleno, varilla, tubo pequeño, lámina delgada (con dado de ranura). También puede usarse como paso previo para producir pellet de plástico reciclado.

Máquina de inyección artesanal (tipo *Precious Plastic*)

- **Componentes:** cilindro calefactado (resistencias de banda), émbolo manual (palanca o tornillo), boquilla de inyección, acoplamiento al molde.
- **Ciclo de inyección:** carga del triturado → calentamiento (esperar estabilización de la T) → inyección lenta y sostenida → tiempo de enfriamiento en molde → apertura → extracción de la pieza.
- **Diseño de moldes artesanales:** materiales (aluminio fundido, acero soldado, madera dura impregnada para pruebas); sistema de bebedero; canales de distribución y punto de inyección; ángulo de desmoldeo mínimo de 2° para facilitar la extracción.
- **Piezas recomendadas para inicio:** llaveros, tapas, botones, piezas geométricas simples (cúbicas o cilíndricas) de espesor máximo de 15 mm para garantizar enfriamiento homogéneo.

Prensa de compresión de platos calientes (recomendada como primer equipo del ITT)

- **Componentes:** dos platos de acero (mínimo de 10 mm de espesor y de 30 × 30 cm), resistencias calefactoras entre los platos (de plancha doméstica u horno), termocupla tipo K + controlador de temperatura, gato hidráulico de 2 a 5 toneladas, estructura de acero soldado.
- **Operación:** colocar triturado en molde (marco de acero de la forma deseada); situar el molde entre los platos; calentar hasta temperatura de proceso; bajar el gato hasta aplicar la presión de diseño; mantener la T y la P durante 5 a 10 min; enfriar con ventilación o paños húmedos sobre los platos y desmoldar.

- **Productos:** baldosas de 20 × 20 o de 30 × 30 cm (espesor de 6 a 8 mm), tableros para mobiliario escolar, macetas, bandejas y paneles decorativos.
- **Ventaja constructiva:** este equipo puede ser fabricado en su totalidad en el taller de Mecánica Industrial con materiales locales (acero de construcción, restos de plancha doméstica, gato de vehículo), en un lapso de 16 a 20 horas taller.

3.5. Control de calidad del producto

- **Inspección visual:** ausencia de burbujas, grietas, quemado (manchas oscuras), alabeo por enfriamiento no uniforme.
- **Densidad por método de desplazamiento de agua:** masa en aire / (masa en aire – masa en agua). Permite detectar porosidad interna (densidad medida < densidad teórica de la resina).
- **Resistencia al impacto por caída libre:** soltar la pieza desde 1 m de altura sobre superficie de concreto y registrar si hay fractura.
- **Dureza de plásticos rígidos:** medición con durómetro manual. Los valores de referencia son: HDPE ≈ de 60 a 70 Shore D; PP ≈ de 65 a 80 Shore D y PS ≈ de 75 a 85 Shore D.
- **Criterios mínimos de aceptación para baldosas de uso en patio escolar:** ausencia de fracturas en prueba de impacto, sin porosidad visible, espesor uniforme ±1 mm y dimensiones ±2 mm respecto al nominal.

3.6. Diseño y construcción de equipos de bajo costo

Esta sección refleja el enfoque de construcción local del equipamiento. Se presentan las especificaciones mínimas y los materiales necesarios para que los propios estudiantes construyan los equipos en el taller.

- **Trituradora de plásticos de eje hexagonal (tipo *Precious Plastic*)**
- **Principio de funcionamiento:** dos ejes paralelos con cuchillas entrelazadas en acero al carbono (acero SAE 1045 o equivalente). El plástico se fractura por cizallamiento al pasar entre las cuchillas.
- **Materiales y dimensiones:** ejes de 25 a 30 mm de diámetro y longitud activa de 200 mm; cuchillas cortadas de plancha de acero de 6 mm; separadores entre cuchillas de 5 mm; chasis soldado de perfil cuadrado de 40 × 40 mm.
- **Motor:** monofásico de 1,5 a 2 HP, 1 440 RPM, con reducción de velocidad de 50 a 100 RPM en los ejes mediante un sistema de poleas y correa trapezoidal o un reductor de engranajes.

- **Costo estimado de materiales:** 800 a 1 800 Bs (acero de desecho de tornería, motor de segunda mano). El torneado de ejes y el corte de cuchillas son práctica directa del taller de Mecánica Industrial.

Extrusora de husillo simple: Especificaciones constructivas

- **Barril:** tubo de acero inoxidable o de acero al carbono (SAE 1020) de diámetro interior entre 25 a 35 mm y con una longitud de 500 a 700 mm.
- **Husillo:** eje torneado en acero SAE 1045 con rosca helicoidal; $L/D \approx$ de 20 a 25; profundidad de canal decreciente de la zona de alimentación a la de dosificación (compresión 3:1).
- **Sistema de calefacción:** 3 a 5 resistencias de banda (NiCr) de 200 a 400 W cada una, reguladas por 1 a 3 controladores PID de temperatura con termocupla tipo K.
- **Motor:** monofásico 1 a 2 HP, con reducción de 10 a 60 RPM, mediante un variador de frecuencia (*inverter*) o con motorreductor de tornillo sin fin.
- **Costo estimado de materiales:** 2 000 a 4 500 Bs (el costo mayor corresponde al mecanizado del husillo y al sistema eléctrico). El barril y el husillo pueden encargarse a un tornero local con los planos del taller.

Prensa de compresión: Especificaciones constructivas detalladas

Platos: chapa de acero de 10 mm de espesor, de 300 × 300 mm; una superficie rectificada o amolada para garantizar planeidad.

- **Sistema de calefacción:** 2 resistencias tipo plancha doméstica de 1 000 W (desmontadas de la carcasa original y soldadas bajo el plato) o resistencias de cartucho de 200 W empotradas en barrenos.
- **Control de temperatura:** 1 controlador PID por plato, con termocupla tipo K embutida en el plato, con un rango de 0 a 300 °C.
- **Sistema de presión:** gato hidráulico de botella de 2 a 5 t (de segunda mano), invertido con plato superior fijo y plato inferior móvil; o con husillo roscado de M30 y manivela (prensa de tornillo).
- **Estructura:** marco soldado de perfil cuadrado de 50 × 50 mm o de perfil UPN 80; una altura total de 50 a 60 cm y un peso $\approx$ de 30 a 50 kg.
- **Costo estimado de materiales:** 1 000 a 2 000 Bs. Es el equipo más económico y el de mayor facilidad de construcción; se recomienda como primer equipo del ITT.

4. Descripción detallada del proceso

El proceso completo se organiza en seis etapas secuenciales, desde la recepción del residuo plástico hasta la entrega del producto terminado con su registro de calidad.

4.1. Etapa 1: Recolección, clasificación e inspección del residuo plástico

La materia prima del proceso es el plástico posconsumo recolectado en el ITT y en el entorno barrial. La recolección debe ser segregada en origen (recipientes identificados por tipo de plástico) o clasificada manualmente a la llegada al taller.

- Disponer de recipientes de acopio rotulados por código SPI (mínimo 3 tipos: PET, HDPE/PP y LDPE) en la cafetería, los talleres y las aulas del ITT.
- Inspeccionar el lote recibido, retirar metales (tapas de hojalata, aros), termoestables, vidrio y cualquier plástico no identificado por código SPI.
- Identificar el PVC con prueba de llama en espacio ventilado (llama verde, humo blanco ácido = PVC → desechar o separar para disposición diferenciada). El PVC nunca debe ser procesado en la extrusora ni en la prensa ya que el HCl liberado daña los equipos y es tóxico para los operarios.
- Pesar el lote por tipo de resina y registrar en planilla de seguimiento.

4.2. Etapa 2: Limpieza y secado

- Retirar etiquetas de papel sumergiéndolas en agua tibia durante 5 minutos (las etiquetas de papel se desprenden, las de polietileno se quedan adheridas y pueden procesarse con el plástico de base).
- Lavar con agua y detergente neutro en recipientes de agua corriente, cepillar el interior de las botellas y los envases.
- Enjuagar con agua limpia.
- Secar al sol o utilizando un secador de cabello (para lotes pequeños). Para PET secar en horno de 100 a 120 °C durante 4 horas mínimo antes del procesamiento.
- No procesar material húmedo, las burbujas en el producto terminado son la señal más clara de humedad no eliminada.

4.3. Etapa 3: Trituración y clasificación granulométrica

La trituradora de eje hexagonal convierte los envases y piezas lavadas en copos de plástico de 5 a 15 mm de tamaño. La operación incluye:

- Verificar el estado de las cuchillas (no deben tener deformación ni rebabas) y del sistema de protección de la tolva, hacerlo antes de iniciar.
- Alimentar el material limpio y seco en pequeñas porciones (no superar la capacidad de la tolva). Las botellas de PET deben aplastarse antes de ser introducidas.
- Recolectar el triturado en el recipiente de salida. Tamizar con criba de 15 mm para separar piezas grandes no trituradas (retornan a la trituradora) de aquellas finas aceptables.

- Almacenar el triturado clasificado por tipo de resina en bolsas o recipientes cerrados, etiquetados identificando el tipo de resina, la fecha de trituración y el color (el color tiene gran efecto en el producto final).

4.4. Etapa 4: Procesamiento: extrusión, inyección o compresión

4.4.1. Compresión (recomendada como primera experiencia)

- Encender la prensa y ajustar el controlador de temperatura a la T de proceso de la resina (HDPE a 180 °C; PP a 200 °C y LDPE a 170 °C).
- Esperar la estabilización de la temperatura (15 a 25 min, indicada por el controlador en modo OFF/ON o por el testigo luminoso).
- Pesar la cantidad de triturado necesaria para llenar el molde a la densidad deseada. Como referencia, para una baldosa de 20 × 20 × 0,8 cm de HDPE (densidad de 0,95 g/cm³), masa se calcula de la siguiente manera $20 \times 20 \times 0,8 \times 0,95 = 304 \text{ g} \approx 310 \text{ g}$, incluyendo un 2 % de exceso.
- Depositar el triturado en el molde colocado en el plato inferior. Distribuir de forma homogénea para evitar diferencias de espesor.
- Bajar el plato superior, aplicar presión con el gato (2 a 5 t) y mantener durante 8 a 12 min a temperatura de proceso.
- Reducir la temperatura a 80 °C o enfriar los platos con paños húmedos sin retirar la presión, durante 5 a 10 min.
- Liberar la presión, retirar el molde y extraer la pieza. Registrar temperatura real de proceso, tiempo de compresión, tiempo de enfriamiento y masa de la pieza obtenida.

4.4.2. Extrusión

- Conectar las resistencias en secuencia de zonas (zona 1 → zona 2 → zona 3) y esperar estabilización del perfil térmico (20 a 35 min).
- Verificar que el dado esté limpio y conectado. Introducir el triturado seco en la tolva.
- Activar el motor del husillo a baja velocidad (10 a 15 RPM al inicio). Esperar la salida del material por el dado. Los primeros salen de 30 a 60 g y suele ser material contaminado o degradado del ciclo anterior. Desechar.
- Aumentar gradualmente la velocidad hasta lograr un flujo continuo, uniforme y sin burbujas.
- Guiar el hilo o perfil de salida sobre una superficie plana de enfriamiento (tablero con agua fría o simple ventilación natural). Cortar a la longitud deseada con cuchillo o sierra.
- Al concluir purgar el husillo con material limpio a una T máxima y luego enfriar progresivamente (nunca enfriar el material dentro del barril ya que bloquea el husillo).

4.4.3. Inyección

- Calentar el cilindro a la T de proceso de la resina. Cargar el triturado seco.
- Preparar y cerrar el molde. Verificar el punto de inyección que esté limpio y desbloqueado.

- Acoplar el cilindro caliente al punto de inyección del molde. Empujar el émbolo lentamente y de forma sostenida (nunca de golpe, genera olas de flujo y burbujas).
- Mantener la presión del émbolo de 30 a 60 s para compensar la contracción por enfriamiento.
- Retirar el cilindro. Esperar el tiempo de enfriamiento, abrir el molde y extraer la pieza con desmoldante o placa expulsora.

4.5. Etapa 5: Acabado e inspección de calidad

- Retirar rebabas con cuchillo o lija gruesa (80 grit).
- Inspeccionar visualmente los defectos (burbujas y/o quemado) y registrar con causa probable y acción correctiva para la próxima tanda.
- Pesar la pieza terminada y comparar con el teórico calculado (rendimiento másico).
- Aplicar las pruebas de calidad correspondientes (impacto, densidad) según la sección A.3.5.
- Registrar en la planilla de producción el tipo de resina, el color, la T del proceso, el tiempo del ciclo, la masa de entrada y la masa de salida, los defectos observados. Colocar aprobado/rechazado.

4.6. Etapa 6: Limpieza y mantenimiento de los equipos

- Purgar la extrusora al finalizar con material limpio, nunca dejar material dentro del barril al enfriar.
- Limpiar las cuchillas de la trituradora con cepillo de acero, lubricar los rodamientos de los ejes con grasa cada 8 h de uso.
- Limpiar los platos de la prensa con espátula metálica mientras aún estén calientes (para que sea más fácil). No usar disolventes orgánicos sobre las resistencias.
- Limpiar los moldes con desmoldante y trapo, guardar en lugar limpio y seco.
- Registrar cualquier anomalía del equipo (ruido inusual, variación de T, fuga de material) en el cuaderno de mantenimiento del taller.

5. Diagramas de bloques del proceso

5.1. Diagrama global de entradas y salidas

Esquema de entradas y salidas del reciclaje mecánico de plásticos posconsumo.

ENTRADAS (materia, energía)	PROCESO (reciclaje mecánico)	SALIDAS (producto y residuos)
• Plásticos posconsumo clasificados por resina (PET, HDPE, PP, LDPE) • Agua y detergente para limpieza • Energía eléctrica para trituración, calefacción y motorización • Moldes y matrices de conformado • Trabajo de los operarios (clasificación, carga, desmolde)	1. Clasificación e inspección (por código SPI y pruebas de campo) 2. Limpieza y secado (lavado, enjuague, secado) 3. Trituración (5 a 15 mm, clasificado) 4. Conformado térmico (extrusión / inyección / compresión) 5. Enfriamiento y desmolde (en molde o zona de enfriamiento)	Producto principal: • Pieza o perfil de plástico reciclado (baldosa, varilla, perfil, pieza de inyección). Residuos del proceso: • Plástico no clasificable o contaminado (a disposición diferenciada). • Agua de lavado con detergente (a drenaje municipal). • Material de purgado de la extrusora (a reprocesamiento o descarte). • Gases de degradación traza (ventilación). Pérdidas de proceso: • Finos de trituración (< 2 mm, < 3 % de la masa). • Rebabas de desmolde (retornan al proceso).

5.2. Diagrama operativo por etapas con puntos de control

Flujo operativo del reciclaje mecánico de plásticos con puntos de control.

Nº	Bloque operativo	Operaciones y variables	Punto de control / decisión
1	Recolección y clasificación por código SPI	Inspeccionar el lote. Identificar la resina por código SPI o mediante prueba de campo. Pesar por tipo y registrar.	¿Hay PVC (código 3, llama verde)? → SEPARAR Y DESECHAR. ¿No identificable? → desechar. ¿Lote mixto? → clasificar antes de continuar.
2	Limpieza y secado	Lavar con detergente, enjuagar y secar (al sol entre 2 a 4 h o en horno a 80 °C). PET secar de 100 a 120 °C durante 4 h.	¿Material aún húmedo al tacto? → no procesar. ¿Restos de alimento visibles? → relavar. ¿Etiquetas de papel presentes? → remojar por 5 min.
3	Trituración y tamizado	Verificar que el EPP esté completo. Verificar las guardas de la trituradora. Alimentar en porciones. Tamizar con criba de 15 mm.	¿Partículas > 15 mm? → retornar a trituradora. ¿Finos excesivos (< 2 mm)? → separar para descarte. ¿Ruido inusual? → detener y revisar cuchillas.
4	Calentamiento del equipo de conformado	Encender las resistencias. Ajustar la T del proceso según la resina (Tabla 6.3.10.4). Esperar la estabilización del controlador (15 a 35 min).	¿T estabilizada según controlador? → verificar con termómetro de contacto externo. ¿Diferencia > 10 °C entre lectura del controlador y externa? → calibrar termocupla antes de procesar.
5	Conformado (extrusión / inyección / compresión)	Cargar el triturado seco. Operar el equipo según el protocolo de la Etapa 4 (§A.4.4). Registrar la T real, la presión y el tiempo del ciclo.	¿Humo oscuro u olor quemado? → bajar la T inmediatamente y purgar. ¿Burbujas en el producto? → revisar secado del material. ¿Material no fluye? → subir la T en 5 °C o verificar obstrucción.
6	Enfriamiento y desmolde	Esperar tiempo de enfriamiento. Extraer la pieza. Eliminar las rebabas. Pesar la pieza terminada.	¿Warping (alabeo) de la pieza? → enfriar más lento o bajo presión continua. ¿Pieza adherida al molde? → verificar ángulo de desmoldeo y aplicar desmoldante.
7	Inspección y control de calidad	Inspección visual. Prueba de impacto. Medición de espesor y dimensiones. Registro en planilla.	¿Defectos por encima de criterios de aceptación? → registrar causa y acción correctiva. ¿Pieza rechazada? → retornar al proceso (triturar y reprocesar).
8	Cierre del equipo y limpieza	Purgar la extrusora. Limpiar los moldes y los platos en caliente. Lubricar las cuchillas. Registrar el número de horas de uso del equipo.	¿Equipo con material solidificado en el husillo o en la boquilla? → calentamiento controlado antes de intentar arrancar. Nunca forzar el husillo en frío.

6. Balances de materia y energía simplificados

Los balances permiten planificar la producción (¿cuánto plástico necesito para fabricar cada pieza?) y evaluar el rendimiento del proceso. Se realiza el cálculo manualmente o con calculadora.

6.1. Balance global de materia

El balance de materia del proceso de reciclaje mecánico de plásticos se expresa como:

$$m_{\text{entrada}} = m_{\text{producto}} + m_{\text{purgado}} + m_{\text{rebabas}} + m_{\text{finos}} + m_{\text{descarte}}$$

Donde:

m_{entrada} = masa total de plástico clasificado, limpio y seco que ingresa al proceso (kg).

m_{producto} = masa total de piezas terminadas aprobadas por control de calidad (kg).

m_{purgado} = material de purgado inicial y de transición entre resinas en la extrusora (kg). Típicamente 2 a 5 % de la carga.

m_{rebabas} = masa de rebabas de desmolde recuperadas y retornadas al proceso (kg).

Se puede descontar: m_{rebabas} retorna a m_{entrada} .

m_{finos} = finos de trituración < 2 mm, no procesables (kg). Típicamente 1 a 3%.

$m_{descarte}$ = material contaminado, PVC retirado o material inidentificable (kg). Debe minimizarse con buena clasificación.

El rendimiento másico del proceso (η_m) es:

$$\eta_m = m_{producto} / m_{entrada} \times 100\%$$

Para un proceso bien controlado, con buen material de entrada y operador entrenado, el rendimiento másico esperable es:

Condiciones del proceso	η_m esperado	Pérdidas principales	Recomendación
Compresión con material limpio y clasificado (HDPE o PP).	88 a 94%	Finos de trituración (2 a 4 %) + rebabas de bordes (2 a 5 %)	Las rebabas retornan al proceso; el rendimiento neto de material convertido en producto es > 90%.
Extrusión con material limpio, buen perfil de la T.	85 a 92%	Purgado (3 a 5 %) + finos (1 a 3 %)	Minimizar la cantidad de purgado planificando adecuadamente el orden de procesamiento (de claro a oscuro, de PP a HDPE).
Inyección con ciclos cortos y molde bien calibrado.	82 a 90%	Bebedero (gate residual, 2 a 5%) + piezas defectuosas (5 a 10% al inicio)	Los bebederos (sprues) y piezas defectuosas retornan al proceso por trituración.

6.2. Planificación de la producción ¿cuánto plástico se necesita?

La relación inversa del rendimiento permite planificar la cantidad de materia prima necesaria para una producción objetivo:

$$m_{entrada\ necesario} = m_{producto\ deseado} / \eta_m$$

Para dimensionar la producción de baldosas, se calcula la masa de una baldosa a partir de su volumen y la densidad de la resina:

$$m_{baldosa} = L \times A \times e \times \rho_{resina}$$

Donde L y A son las dimensiones de la baldosa (m), e es el espesor (m) y ρ_{resina} es la densidad de la resina procesada (kg/m³).

Ejemplo numérico completo de planificación de producción

Se desea producir 20 baldosas de HDPE reciclado de $20 \times 20 \times 0,8$ cm para el patio del ITT, con un proceso de compresión y un rendimiento esperado del 90%.

Paso 1: Masa de una baldosa:

$$m_{\text{baldosa}} = 0,20 \times 0,20 \times 0,008 \times 950 = 0,304 \text{ kg} \approx 310 \text{ g (incluyendo 2\% de exceso para rebabas)}$$

Paso 2: Masa total de producto deseado:

$$m_{\text{producto}} = 20 \times 0,310 = 6,2 \text{ kg}$$

Paso 3: Materia prima necesaria ($\eta_m = 0,90$):

$$m_{\text{entrada}} = 6,2 / 0,90 = 6,9 \text{ kg de HDPE limpio, seco y triturado}$$

Paso 4: Verificación del rendimiento al final del proceso:

Si al finalizar se obtienen 5,8 kg de producto aprobado:

$$\eta_m \text{ real} = 5,8 / 6,9 \times 100\% = 84\%$$

→ Rendimiento por debajo del esperado. Causas probables: exceso de rebabas rechazadas (material contaminado), humedad no eliminada o temperatura de proceso inadecuada que generó piezas defectuosas. Revisar y corregir para el siguiente lote.

6.3. Balance energético simplificado

La energía eléctrica consumida en el proceso de reciclaje mecánico proviene de dos fuentes: del sistema de calefacción (resistencias) y del motor de la trituradora y/o de la extrusora. El balance simplificado es:

$$E_{\text{total}} (\text{kWh}) = E_{\text{calefacción}} + E_{\text{motor}}$$

$$E_{\text{calefacción}} = P_{\text{resistencias}} (\text{kW}) \times t_{\text{proceso}} (\text{h})$$

$$E_{\text{motor}} = P_{\text{motor}} (\text{kW}) \times t_{\text{operación}} (\text{h}) / \eta_{\text{motor}}$$

Para la prensa de compresión con dos resistencias de 1 000 W cada una y un tiempo de proceso de 0,5 h por lote (30 min de compresión + 10 min de calentamiento inicial):

$$E_{\text{calefacción}} = 2,0 \text{ kW} \times 0,5 \text{ h} = 1,0 \text{ kWh por lote (sin motor en compresión)}$$

Para la extrusora con resistencias de 1 200 W y motor de 750 W (1 HP) funcionando por 1 h:

$$E_{\text{extrusora}} = (1,2 + 0,75) \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 1,95 \text{ kWh/h de operación}$$

El costo energético por kilogramo de plástico procesado se calcula dividiendo la energía total por la masa procesada. Para la prensa produciendo 6,2 kg de producto en 3 horas (3 lotes):

$$\text{Costo}_{\text{energía}} = 3,0 \text{ kWh} \times \text{tarifa eléctrica (Bs/kWh)} / 6,2 \text{ kg}$$

Con la tarifa eléctrica residencial de Bolivia de referencia ($\approx 0,46$ Bs/kWh en mayo 2026):

$$\text{Costo}_{\text{energía}} \approx 3,0 \times 0,46 / 6,2 \approx 0,22 \text{ Bs por kg de HDPE procesado}$$

Este valor es significativamente inferior al precio del pellet de HDPE virgen (aprox. 12 a 18 Bs/kg), confirmando la viabilidad económica del reciclaje mecánico aun a escala de taller.

6.4. Estimación de la huella de carbono evitada

Un beneficio adicional cuantificable del reciclaje mecánico es la reducción de emisiones de CO₂ equivalente respecto a la fabricación de plástico virgen. El factor de referencia para HDPE reciclado mecánicamente en comparación con el HDPE virgen es:

$$\text{CO}_2 \text{ evitado} \approx 1,5 - 2,0 \text{ kg CO}_2\text{eq evitados por kg de HDPE reciclado}$$

Para el ejemplo de las 20 baldosas (6,2 kg de HDPE procesado):

$$\text{CO}_2 \text{ evitado} \approx 6,2 \times 1,8 \approx 11,2 \text{ kg CO}_2\text{eq}$$

Este dato puede incorporarse al informe de cierre del proyecto como indicador de impacto ambiental, vinculando el proceso con el ODS 13 (en términos de acción climática).

7. Criterios de seguridad operacional

El procesamiento de plásticos a alta temperatura presenta riesgos de quemaduras, emisión de gases de degradación y riesgos eléctricos. La correcta identificación de la resina, en particular la exclusión total del PVC, es la medida de seguridad más importante de este PIA.

7.1. Identificación de peligros

Categoría	Peligro identificado	Población expuesta	Mecanismo / Prevención
Térmico - CRÍTICO	Quemadura por contacto con superficies calientes (platos de prensa, barril, dado).	Todos los operarios.	Las superficies de 180 a 260 °C producen quemaduras de tercer grado en < 1 s. Nunca tocar sin guantes de cuero aislantes. La señalización debe ser visible en superficies calientes.
Químico - CRÍTICO	Emisión de HCl gaseoso por procesamiento accidental de PVC.	Todos en el área de trabajo.	HCl es altamente tóxico e irrita las vías respiratorias. El PVC debe ser identificado y excluido ANTES de iniciar el proceso. Ante olor ácido fuerte apagar el equipo, evacuar y ventilar.
Químico	Emisión de vapores de degradación térmica (styrene de PS, AGV de PET degradado) por temperatura excesiva.	Operarios en el equipo de conformado.	Procesar siempre con ventilación activa del área (ventana abierta, extractor). No exceder la T de proceso en más de 20 °C por encima del valor de tabla.
Eléctrico	Electrocución por contacto con resistencias o conexiones sin aislamiento.	Operarios en la construcción y operación de los equipos.	Todas las conexiones eléctricas deben estar aisladas y entubadas. Contar con un interruptor diferencial (diferencial de 30 mA) obligatorio en el tablero del taller. No manipular las conexiones con el equipo energizado.
Mecánico	Atrapamiento de manos en la trituradora (ejes y cuchillas en movimiento).	Operarios en la carga de material.	La guarda de tolva es obligatoria. La boca de la tolva no debe permitir el paso de la mano. Alimentar con empujador de madera. Nunca introducir la mano en la tolva con el equipo en marcha.
Mecánico	Proyección de fragmentos de plástico durante la trituración.	Operarios y personas cercanas	Gafas de seguridad obligatorias durante la trituración. Verificar que la carcasa de protección de la trituradora esté correctamente instalada.
Ergonómico	Sobreesfuerzo en el accionamiento manual del gato de la prensa o del émbolo de la inyectora.	Operarios en la prensa y en la inyectora	Diseño ergonómico del brazo de la palanca (longitud mínima 60 cm para la inyectora, gato de botella para la prensa). No realizar esfuerzos de más de 15 kg con la muñeca.

7.2. EPP requerido por operación

Operación	EPP mínimo requerido
Clasificación y prueba de llama	Gafas de seguridad y guantes de nitrilo. La operación debe realizarse en espacio abierto y ventilado y contar con un extintor cercano. En el caso de la prueba de llama, solo una (1) persona ejecuta y la otra observa.
Trituración	Gafas de seguridad (proyección de fragmentos), guantes de cuero (no de nitrilo ya que se enreda en los ejes), protección auditiva si el ruido > 80 dB y calzado cerrado.
Operación de la prensa caliente	Guantes de cuero grueso o guantes de horno aislantes (150 °C mínimo), gafas de seguridad, mandil de cuero o de algodón grueso (no sintético ya que se funde al contacto). Nunca usar guantes de nitrilo o látex cerca de superficies calientes.
Operación de la extrusora	Guantes de cuero en la zona del dado (material caliente a la salida), mascarilla FFP2 si la ventilación es insuficiente, gafas de seguridad y mandil de cuero o algodón.
Operación de la inyectora artesanal	Guantes de cuero al sostener el molde y manipular la boquilla, gafas de seguridad para protección contra proyección de material fundido. El molde debe sujetarse con herramientas, no con las manos.
Mantenimiento eléctrico	Es tarea sólo del docente o de un estudiante habilitado en Electricidad Industrial. Desconectar el equipo de la red antes de cualquier intervención en el sistema eléctrico. Verificar la ausencia de tensión con multímetro.

7.3. Protocolos preoperación, durante y posoperación

Checklist de preoperación (antes de cada sesión)

- Verificar que el EPP esté completo para todos los miembros del equipo.
- Confirmar que el material a procesar está clasificado y no contenga PVC (prueba de llama si hay duda).
- Verificar que las guardas de la trituradora estén instaladas correctamente.
- Verificar el estado del aislamiento eléctrico de las resistencias y cables del equipo de conformado.
- Confirmar que el área de trabajo tiene ventilación activa (ventana o extractor).
- Confirmar que el extintor de polvo químico o CO₂ está disponible y accesible.

Durante la operación

- Nunca dejar el equipo de conformado encendido sin supervisión ya que las resistencias pueden sobrecalentar el material en < 5 min con temperatura del controlador desajustada.
- Ante humo oscuro u olor desagradable intenso apagar el equipo de conformado, ventilar el área, purgar el material del barril sólo cuando la T sea > 180 °C (para que fluya). Si el olor es ácido (posible HCl) y en ese caso evacuar el área.
- No forzar el émbolo o el husillo si hay resistencia mecánica inusual, esto indica presencia de material no fundido o atascado. Subir la T y esperar.
- El empujador de material en la trituradora debe ser de madera, con longitud suficiente para que la mano quede fuera de la zona de cuchillas en todo momento.
- Registrar la temperatura real del proceso, el número de piezas, la masa de entrada y la masa de salida en cada sesión.

Posoperación

- Apagar las resistencias del equipo de conformado y dejar enfriar con el material purgado dentro del barril (no en frío ni sin purgar).
- Limpiar los moldes en caliente con espátula (para facilitar el proceso). Aplicar desmoldante para la siguiente sesión.
- Limpiar la trituradora con cepillo. Lubricar los rodamientos.
- Recoger todos los fragmentos de plástico del suelo del taller para evitar resbalones.
- Retirar EPP desechable. Lavado de manos. Registro de cierre de sesión.

Criterios para suspender la sesión: Protocolo de emergencia

Suspender la operación y evacuar el área en los siguientes casos:

- Olor ácido fuerte y persistente (probable HCl de PVC procesado accidentalmente) apagar el equipo, evacuar y ventilar durante 15 min mínimo antes de reingresar.
- En caso de principio de incendio en el equipo, utilizar el extintor de CO₂ o polvo. No usar agua sobre equipos eléctricos.
- En quemadura de piel con material fundido enfriar con agua fría corriente durante 10 min mínimo. No desprender el plástico adherido. Buscar atención médica.
- Si hay lesión mecánica por la trituradora, detener el equipo de inmediato con el interruptor de emergencia (debe estar instalado y visible). Buscar atención médica inmediata.

Tener a disposición el número de emergencia del ITT, un botiquín de primeros auxilios. La ducha de emergencia debe estar señalizada y de fácil acceso en el taller.

8. Equipamiento, herramientas e insumos

El enfoque de este PIA se centra en la fabricación de los equipos por parte de los estudiantes. Para facilitar la planificación del taller, la siguiente tabla distingue entre los equipos de autoconstrucción (A) y aquellos que se deben adquirir comercialmente (C).

Tipo	N°	Ítem	Canti- dad	Costo ref. (Bs)	Observación
A	1	Trituradora de plásticos de eje hexagonal (autoconstruida).	1	800 a 1 800 materiales	Proyecto semestral de Mecánica Industrial y Electricidad. Diseño base de Precious Plastic v4 shredder.
A	2	Prensa de compresión de platos calientes (autoconstruida).	1	1 000 a 2 000 materiales	Primer equipo recomendado para construir. Planos disponibles en taller o adaptados de Precious Plastic.
A	3	Extrusora de husillo simple (autoconstruida).	1	2 000 a 4 500 materiales	Barril encargado en tornería local, husillo elaborado por tornero con planos y sistema eléctrico instalado por Electricidad Industrial.
A	4	Inyectora artesanal de émbolo manual (autoconstruida).	1	600 a 1 200 materiales	Cilindro de acero, émbolo torneado, resistencias de banda, palanca de presión. El más sencillo de los 4 equipos.
A	5	Moldes de compresión (marcos de acero de 3 a 5 mm, 20 × 20 cm y 30 × 30 cm).	4 a 8 ud	80 a 200 c/u	Cortados en taller de corte plasma o amoladora. Seleccionar los distintos espesores según el producto deseado.
A	6	Moldes de inyección (aluminio fundido o madera dura para piezas pequeñas).	2 a 6 ud	150 a 600 c/u	Diseñados por Diseño Gráfico, mecanizados en Mecánica Industrial. Iniciar con formas simples.
C	7	Controladores PID de temperatura (rango 0–400 °C) con termocupla tipo K.	3 a 5 ud	80 a 200 c/u	Disponibles en tiendas de electrónica o ferreterías eléctricas. Son esenciales para el control de temperatura.
C	8	Balanza de plataforma (≥ 10 kg, resolución 10 g).	1	300–600	Para pesado del material de entrada y del producto terminado.

Tipo	N°	Ítem	Canti- dad	Costo ref. (Bs)	Observación
C	9	Tamiz metálico de 15 mm de abertura, 40×60 cm (clasificación del triturado).	1	80–150	Construible en el taller con malla de acero inoxidable y marco de madera.
C	10	EPP por estudiante: guantes de cuero, gafas de seguridad, mandil de cuero o algodón, calzado cerrado.	4 a 6 kits	120–250 c/u	Los guantes de cuero son indispensables. NO usar guantes de nitrilo cerca de las máquinas calientes.
C	11	Extintor de polvo químico (PQS) de 6 kg o CO ₂ de 5 kg.	1	250–500	OBLIGATORIO. Sino se cuenta con un extintor operativo no se autoriza el encendido de los equipos calientes.

Costo total estimado del equipamiento: entre 3 500 Bs (solo prensa + trituradora mínima + accesorios de compra) y 12 000 Bs (conjunto completo de 4 equipos autoconstruidos + moldes + instrumentación). El costo se amortiza con la producción del taller.

9. Criterios e instrumentos de evaluación

Dimensión	Peso	Instrumento sugerido
Saber (conocimiento)	25%	Examen escrito (de 45 min): identificar las resinas por propiedades y el código SPI, los principios de cada proceso de conformado, interpretar los defectos del producto y sus causas, y realizar el balance de materia numérico de producción de baldosas.
Saber hacer - Construcción del equipo	25%	Rúbrica de construcción (para los equipos autoconstruidos): precisión dimensional, calidad de soldaduras o uniones, funcionamiento del sistema eléctrico, instalación de guardas de seguridad, resultado de la prueba de funcionamiento en vacío.
Saber hacer - Operación y producción	30%	Rúbrica de operación (12 ítems): clasificación correcta del material, limpieza y secado, trituración dentro de granulometría, ajuste de temperatura, ciclos de producción registrados, rendimiento másico calculado, defectos identificados con acciones correctivas, calidad de los productos terminados.
Saber ser (actitudinal)	20%	Cumplimiento constante del protocolo de seguridad (checklist firmado por sesión, el incumplimiento descuenta del puntaje) + presentación del proyecto y del producto terminado ante la comunidad educativa + autoevaluación del equipo.

10. Materiales complementarios sugeridos

- **Tabla de referencia plastificada «Temperaturas de proceso por resina»:** fijada sobre la prensa y la extrusora, con los valores de la T para cada resina identificada por color de recuadro. Incluye la fila del PVC marcada en rojo con leyenda NO PROCESAR.
- **Planilla manual o en papel cuadriculado «Control de producción por lote»:** columnas de fecha, resina, masa entrada (g), T proceso (°C), tiempo ciclo (min), piezas producidas, piezas aprobadas, piezas rechazadas, causa del rechazo, masa real de producto (g), η_m calculado (%).
- **Cartel de seguridad plastificado A3 en el área de los equipos calientes:** fotografías de las superficies peligrosas identificadas, EPP requerido, protocolo de quemadura (agua fría 10 min), teléfono de emergencia del ITT.
- **Planos simplificados de los 4 equipos autoconstruidos** (en formato A3 imprimible): trituradora, prensa, extrusora, inyectora. Los planos deben incluir lista de materiales con medidas y especificaciones adquiribles en ferreterías locales.

Nota final para el docente

Este Anexo 4 completa el desarrollo del Proceso Integrador sobre reciclaje mecánico de plásticos. La disponibilidad de los equipos autoconstruidos en el taller es el mayor activo pedagógico de este PIA. Un equipo que los propios estudiantes han construido y que funciona es evidencia tangible de la calidad de su formación técnica.

ANEXO 5

Procesos prácticos de la Unidad 3

Guía de complementación curricular sobre Trituración, Clasificación Granulométrica y Producción de Áridos Reciclados de RCD

Proceso práctico N° 4

1. Identificación del proyecto integrador

Denominación	Proyecto Integrador de Aula N° 4: rituración, clasificación granulométrica y producción de áridos reciclados a partir de RCD
Unidad temática de inserción	UT-3: Valorización y aprovechamiento de residuos.
Unidades de Competencia vinculadas	UCB-2: Valorización UCB-5: Innovación y emprendimiento UC de Construcción Civil: Materiales, dosificación, normativa UC de Mecánica Industrial: Diseño de equipos UC de Química Industrial: Caracterización granulométrica y química
Carga horaria sugerida	52 horas pedagógicas: 10 h de teoría, 18 h de construcción de equipos, 14 h producción y clasificación, 6 h ensayos de calidad y dosificación, y 4 h evaluación y presentación.
Modalidad	Este proyecto integrador intercarreras articula las especialidades de Construcción Civil, Mecánica Industrial y Química Industrial bajo un modelo de producción por lotes. Su alcance contempla la entrega de áridos clasificados, así como de piezas de demostración representadas en bloques o adoquines reciclados.
Nivel de competencia	Nivel 2: Aplicación con elementos de Nivel 3: Gestión (diseño de equipos, análisis granulométrico, dosificación de mezclas con árido reciclado).

2. Objetivos de aprendizaje

Los objetivos de aprendizaje se formulan en términos de resultados de aprendizaje observables y evaluables, distinguiendo las tres dimensiones competenciales: saber (conocimiento conceptual), saber hacer (habilidad procedimental) y saber ser (actitud y valor).

2.1. Objetivo general

Objetivo general del Proyecto Integrador

Al concluir el Proyecto Integrador, las y los estudiantes serán capaces de recibir, clasificar, triturar y procesar granulométricamente RCD provenientes de obras del ITT y del entorno. Asimismo, podrán producir árido grueso y fino reciclado de calidad controlada mediante equipos de bajo costo contruidos en el taller, verificando sus propiedades con ensayos básicos estandarizados. Finalmente, estarán capacitados para dosificar y fabricar bloques o adoquines con sustitución parcial de árido natural, valorando el RCD como un recurso secundario con potencial para reducir los costos de obra y la presión ambiental sobre canteras y vertederos.

2.2. Objetivos específicos por dimensión competencial

Saber: dimensión conceptual

1. Describir la composición típica de los RCD en Bolivia, distinguiendo las fracciones valorizables (concreto, mampostería, cerámica) de los contaminantes (yeso, plástico, madera, asfalto) y justificando la necesidad de la segregación en origen.
2. Explicar los mecanismos de fractura de materiales pétreos bajo esfuerzos de compresión e impacto, relacionándolos con el principio de funcionamiento de las trituradoras de mandíbula y de impacto.
3. Interpretar una curva granulométrica (curva de distribución de tamaños de partícula) construida a partir de un tamizado en serie, calcular el módulo de finura y la zona granulométrica de acuerdo con la norma de referencia (ASTM C136 o NB equivalente).
4. Justificar los porcentajes de sustitución de árido natural por árido reciclado permitidos en distintas aplicaciones de construcción (concreto no estructural, bloques, morteros, subbases), en función de la mayor absorción de agua y menor resistencia del árido reciclado.
5. Evaluar las propiedades físicas y químicas del árido reciclado mediante la ejecución de ensayos básicos de control de calidad: densidades (aparente y real), absorción de agua, índice de las y agujas, contenido de sulfatos y cloruros, y resistencia al desgaste en la máquina de Los Ángeles.
6. Reconocer el marco normativo boliviano e internacional aplicable a los RCD y al uso de áridos reciclados en construcción.

Saber hacer: dimensión procedimental

7. Realizar la segregación manual de un lote de RCD, separando fracciones por tipo (concreto, ladrillo, cerámica, yeso, contaminantes), pesando cada fracción y calculando la composición porcentual del lote.
8. Operar la trituradora artesanal de mandíbula o el sistema de trituración por impacto, ajustando la apertura de la mandíbula o el tiempo de trituración hasta obtener la granulometría objetivo.
9. Ejecutar un tamizado en serie con la batería de tamices estándar y construir la curva granulométrica del árido producido, calculando el módulo de finura y comparando con los límites de la norma de referencia.
10. Determinar la absorción de agua del árido reciclado por el método gravimétrico (saturado con superficie seca, SSD) y corregir la dosificación de agua en la mezcla de concreto.

11. Dosificar y fabricar bloques de hormigón de 390 × 190 × 190 mm con 20% de sustitución de árido natural por AGR, siguiendo el procedimiento de la sección A.4.5.
12. Registrar los resultados de los ensayos de calidad en planillas estructuradas y comparar con los valores de referencia para árido reciclado de concreto.
13. Aplicar el balance de materia simplificado para estimar el rendimiento másico del proceso y la distribución de tamaños del árido producido.

Saber ser: dimensión actitudinal

14. Valorar el RCD como materia prima secundaria con potencial de sustitución del árido natural, reconociendo el impacto de la extracción de áridos en los cauces de ríos y en las canteras del altiplano boliviano.
15. Demostrar disciplina en el registro cuantitativo de masas, tamizados y resultados de ensayos, entendiendo que la reproducibilidad del proceso requiere datos trazables.
16. Asumir el compromiso de fabricar equipos duraderos y seguros, reconociendo que la trituradora artesanal representa un riesgo significativo si no se diseña con las protecciones mecánicas adecuadas.
17. Colaborar con estudiantes de otras carreras (Química Industrial, Mecánica Industrial) reconociendo que el resultado del proceso requiere competencias complementarias que ninguna carrera posee de forma aislada.

Tip didáctico para docentes

La construcción de la trituradora de mandíbula artesanal es el entregable más desafiante de este proceso desde el punto de vista de Mecánica Industrial. Se recomienda organizarla como un proyecto de tres semanas antes del inicio del PIA, con la supervisión especial de los docentes de Mecánica y de Electricidad Industrial para el sistema de motorización. Una opción más rápida para comenzar es la trituración manual por impacto con mazo y placa de acero, alternativa accesible en cualquier taller que permite producir suficiente árido para ensayos y bloques de demostración sin requerir la trituradora motorizada.

3. Contenidos teóricos mínimos

Los contenidos se organizan en seis bloques. Los bloques A.3.1 a A.3.3 se desarrollan antes de la construcción de equipos y los bloques A.3.4 a A.3.6, en paralelo con la producción y los ensayos de calidad.

3.1. Marco conceptual y normativo

- **Definición de RCD según la Ley 755 de Bolivia y su Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos:** Análisis de fuentes generadoras, estimación de volúmenes y delimitación de las responsabilidades del generador y del transportista.
- **Los RCD en la jerarquía de la gestión de residuos:** Prevención (diseño para deconstrucción) → reutilización de piezas enteras → reciclaje como árido → valorización energética (solo si no hay alternativa) → disposición final.
- **Impacto ambiental de la gestión inadecuada de RCD en Bolivia:** Vertido ilegal en cauces, pérdida de árido fluvial, erosión de riberas y contaminación de acuíferos.
- **Normativa de referencia para áridos reciclados:** Revisión de los estándares ASTM C33 (áridos para concreto), RILEM TC 121 (áridos reciclados), norma española UNE-EN 12620 (áridos reciclados de construcción). Identificación y selección de los parámetros aplicables al contexto de los ITT bolivianos que no disponen de laboratorio completo.
- **Vinculación con Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):** Contribución al ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y ODS 12 (Producción y consumo responsables) mediante la reducción del vertido ilegal de escombros y la mitigación de la extracción político-ambiental de áridos naturales en cuencas hidrográficas.

3.2. Composición y propiedades físicas de los RCD

- **Composición típica de los RCD en Bolivia:** Concreto y mampostería (55 a 75%), suelos y áridos naturales (10 a 20%), cerámicas (5 a 15%), madera, plástico, metales, yeso (5 a 15% combinado).
- **Propiedades físicas relevantes:** Densidad real, densidad aparente, porosidad, absorción de agua, resistencia a la compresión simple, resistencia al desgaste (índice Los Ángeles).
- **Efecto del mortero adherido al árido de concreto reciclado:** El mortero adherido aumenta la porosidad, reduce la resistencia mecánica y aumenta la absorción de agua del árido reciclado respecto al árido natural.
- **Mecanismos de fractura en trituración:** Fractura por compresión (tritadora de mandíbula), por impacto (mazo e impactora) y por cizallamiento; distribución de tamaños resultante en cada mecanismo.

3.3. Granulometría y curva granulométrica

- **Definición de distribución granulométrica:** Proporción en masa de partículas retenidas en cada tamiz de una serie estándar (ASTM: 1», 3/4», 1/2», 3/8», N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200).

- **Módulo de finura (MF):** Suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices 3/4», 3/8», N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 dividida entre 100. Rangos: arena fina MF < 2,2; arena media 2,2–3,2; arena gruesa 3,2–3,5; árido grueso MF > 3,5.
- **Construcción manual de la curva granulométrica:** Tamizado, pesada de retenidos, cálculo de porcentajes retenidos acumulados y pasantes, representación en escala logarítmica.
- **Interpretación de la curva granulométrica y sus efectos técnicos:** Análisis de curvas bien graduadas (suaves y continuas), uniformes (con predominio de un solo tamaño) y discontinuas (con brechas de gradación o *gaps*). Evaluación de su impacto directo en la trabajabilidad, consistencia y resistencia mecánica del hormigón.
- **Zona granulométrica del árido fino según ASTM C33:** Límites superior e inferior; clasificación del AFR reciclado en zona I, II, III o IV.

3.4. Tecnología de trituración a baja escala

3.4.1. Trituración manual por impacto (primera opción sin inversión)

- **Principio:** aplicación de golpes de mazo (maza de demolición de 3 a 5 kg) sobre la pieza de RCD apoyada en una placa de acero de desgaste. La energía cinética del impacto supera la resistencia a la tracción del material produciendo la fractura.
- **Productividad:** 30 a 60 kg/h por operario, adecuada para producciones de demostración y ensayos de laboratorio (lotes de 20 a 50 kg). No apta para producción continua a escala de bloquera.
- **EPP específico:** pantalla facial completa (no solo gafas) por proyección de esquirlas, guantes de cuero grueso, protección auditiva (ruido > 95 dB por impacto metálico) y calzado de seguridad con punta de acero.

3.4.2. Trituradora artesanal de mandíbula (opción motorizada de bajo costo)

- **Principio de funcionamiento:** una mandíbula fija y una mandíbula móvil articulada en la parte superior; el movimiento excéntrico del cigüeñal produce la apertura y cierre alternante de las mandíbulas, triturando el material por compresión entre ellas.
- **Especificaciones de construcción:** boca de alimentación 150 100 mm; mandíbulas de chapa de acero al manganeso de 8 a 10 mm de espesor o de acero SAE 1045 templado; cigüeñal de acero de 40 mm torneado con excentricidad de 15 a 20 mm; biela de acero SAE 1045; resorte de retorno del plato de ajuste; y carcasa soldada de perfil UPN 100 o de chapa de 6 mm.

- **Motor:** monofásico de 2 a 3 HP, 1 440 RPM, con reductor de poleas (relación 4:1 a 6:1) para llevar el cigüeñal de 240 a 360 RPM; o motor trifásico 1,5 kW si el ITT dispone de red trifásica.
- **Ajuste de la apertura de salida:** plato de ajuste trasero regulable por cuñas o pernos de ajuste, que permite variar el tamaño máximo del producto entre 10 y 40 mm.
- **Costo estimado de materiales:** 2 500 a 5 000 Bs (acero de sección, motor de segunda mano, correas, rodamientos). El mecanizado del cigüeñal y la biela se realiza en el taller de Mecánica Industrial o con un tornero local.

3.4.3. Criba vibratoria artesanal de clasificación granulométrica

- **Principio:** la vibración mecánica separa las partículas según su tamaño al hacerlas pasar sobre mallas de distinta abertura superpuestas de mayor a menor (la fracción más grande queda en la malla superior; la más fina, en el fondo).
- **Construcción:** marco de madera o tubo galvanizado de 25 25 mm con dos o tres mallas metálicas intercambiables (19 mm, 9,5 mm, 4,75 mm) tensadas con abrazaderas y sistema de vibración por excéntrica conectada a motor de 0,5 HP o vibración manual.
- **Sistema de vibración artesanal sin motor:** marco montado sobre resortes de colchón o sobre cámaras de llanta infladas; el operario mueve el marco lateralmente de forma rítmica durante 2 a 3 minutos por lote de 5 a 10 kg. Método suficiente para producción didáctica.
- **Costo estimado:** 300 a 800 Bs (mallas, marco, resortes). Es el equipo más fácil y económico de fabricar de los cuatro equipos del presente proceso.

3.5. Dosificación y fabricación de bloques con árido reciclado

- **Fundamentos de la dosificación con árido reciclado:** corrección por absorción de agua del árido reciclado en la relación agua/cemento efectivo, reducción máxima de resistencia esperada según norma RILEM (15 a 25% para sustitución del 20 a 30% de árido grueso natural).
- **Dosificación de referencia:** para bloques de hormigón de con un 20% de AGR reciclado. Por cada tanda de 10 bloques se requiere: cemento, 10 kg; árido fino natural, 20 kg; árido grueso natural, 12 kg; AGR reciclado, 3 kg (prehumedecido durante 30 min); y agua (ajustar por consistencia), manteniendo una relación .
- **Procedimiento de mezclado:** mezclar en seco cemento + áridos; añadir agua gradualmente hasta consistencia húmeda pero no líquida (cae en bloque al soltarlo con la mano); moldear en molde metálico 390190190 mm; compactar con varilla o vibrador de aguja; desmoldar a las 24 h; curar en agua durante 28 días.

- **Ensayo de resistencia a la compresión (simplificado):** a los 28 días de curado, colocar el bloque entre dos platos de acero planos y aplicar carga creciente con una prensa hidráulica con manómetro. Resistencia = Fuerza máxima / área neta del bloque. Valor mínimo esperado para bloque no estructural (ASTM C90, Grado N): $\geq 5,5$ MPa.

3.6. Caracterización y control de calidad del árido reciclado

- **Densidad aparente en seco (método del recipiente):** pesar recipiente de volumen conocido (ej. 10 L) lleno con árido; densidad aparente = masa árida / volumen recipiente. El valor típico AGR de concreto es de 1 100 a 1 400 kg/m³ (vs. 1 500 a 1 700 kg/m³ del árido natural).
- **Absorción de agua (método SSD):** pesar muestra seca (500 g) → sumergir 24 h → secar superficialmente con paño → pesar → absorción = (masa SSD – masa seca) / masa seca × 100 %. El valor típico es de 3 a 8% (vs. 0,5 a 2% del árido natural).
- **Contenido de yeso (prueba química sencilla):** hervir 100 g de árido fino en 200 mL de agua destilada; agregar 5 mL de solución de cloruro de bario al 10%; la formación de precipitado blanco abundante (sulfato de bario) indica un contenido significativo de yeso.
- **Índice de lascas y agujas (visual y manual simplificado):** seleccionar al azar 100 partículas del árido grueso; separar las lascas (espesor < 1/3 de la longitud mayor) y las agujas (longitud > 3 veces el espesor); índice = número de lascas + agujas / 100 × 100%. El máximo aceptable es de 25% para árido de concreto.
- **Resistencia al desgaste Los Ángeles (simplificado en taller):** método adaptado con recipiente rotativo de 15 L cargado con árido + 12 esferas de acero de 46 g cada una; rotar 500 vueltas a 30–33 RPM; pesar el material que pasa el tamiz N.º 12 (1,7 mm). Desgaste LA = masa pérdida / masa inicial × 100%. El máximo aceptable para árido de concreto es de 40%.

4. Descripción detallada del proceso

El proceso completo se organiza en siete etapas, desde la recepción del RCD hasta la fabricación de las piezas de demostración y el control de calidad del producto.

4.1. Etapa 1: Recepción, inspección y segregación del RCD

La selección y limpieza es la etapa más crítica del proceso ya que un árido reciclado contaminado con yeso, plástico o madera por encima de los límites permitidos compromete la calidad del producto y puede dañar las estructuras donde se utilice. El tiempo dedicado a una correcta separación se traduce directamente en la excelencia del árido obtenido.

- Recibir el lote de RCD en el área de trabajo designada del ITT (patio exterior con piso duro, alejado de las instalaciones eléctricas).
- Extender el lote en una capa delgada (20 a 30 cm) sobre el piso o sobre una lona para facilitar la inspección visual.
- Separar manualmente las siguientes fracciones: **(a)** concreto y mampostería valorizable → contenedor A; **(b)** cerámica → contenedor B; **(c)** yeso → contenedor C (para disposición diferenciada); **(d)** contaminantes livianos: plástico, madera, papel, metal → contenedor D; **(e)** tierra y finos naturales → contenedor E.
- Pesar cada fracción separada y registrar en planilla de seguimiento. Calcular el porcentaje de cada fracción sobre el total del lote.
- Verificar que el contenedor A (concreto y mampostería) tiene un contenido de contaminantes < 1% antes de autorizar el inicio de la trituración.

4.2. Etapa 2: Reducción de tamaño primaria (pretrituración manual)

Antes de introducir el material en la trituradora, las piezas de mayor tamaño (> 150 a 200 mm) deben reducirse a tamaños manejables con herramientas manuales. Esta etapa no es necesaria si el RCD ya viene en fragmentos pequeños (escombros de mampostería fina, trozos de bloque).

- Colocar la pieza grande sobre la placa de desgaste (chapa de acero de 10 mm sobre superficie firme). Nunca sobre el suelo sin placa, el golpe sobre tierra compacta puede rebotar y generar proyectiles.
- Con EPP completo (pantalla facial, guantes de cuero, protección auditiva, calzado con punta metálica). Aplicar golpes precisos de maza de demolición (3 a 5 kg) en la zona media o en los bordes de la pieza, hasta fragmentarla en trozos de 150 a 200 mm o menores.
- Inspeccionar los fragmentos, retirar cualquier barra de acero que quede expuesta. Las armaduras del concreto deben cortarse con cizalla antes de triturar, el acero daña las mandíbulas de la trituradora.

4.3. Etapa 3: Trituración (mandíbula motorizada o manual)

Con trituradora de mandíbula motorizada

- Verificar el estado de las mandíbulas (sin fisuras ni deformaciones), el apriete de los pernos del plato de ajuste y la tensión de las correas antes de arrancar.
- Ajustar la apertura de salida al tamaño máximo deseado del producto (típicamente 19 a 25 mm para AGR o 5 a 10 mm para AFR).
- Arrancar el motor en vacío y esperar que alcance la velocidad nominal (5 a 10 s) antes de alimentar material.
- Alimentar el RCD segregado en pequeñas porciones (2 a 3 kg) desde la parte superior de la boca de la trituradora, nunca de forma continua y masiva (para evitar el riesgo de atasco).
- Recoger el material triturado en el recipiente de salida. Si se observa atasco (el motor baja de velocidad y aumenta el ruido), detener la alimentación y NO introducir

herramientas en la boca mientras el motor esté en marcha. Desconectar el motor, esperar que pare totalmente y limpiar la boca desde arriba con una varilla de madera.

Sin trituradora (trituration manual por impacto)

- Colocar los fragmentos de RCD pretriturados sobre la placa de desgaste.
- Con EPP completo, aplicar golpes de maza de demolición (3 a 5 kg) controlados hasta fragmentar el material al tamaño deseado.
- Separar con pala pequeña el material triturado hacia el recipiente de clasificación. Repetir hasta completar el lote (productividad $\approx$ 30 a 60 kg/h por operario).

4.4. Etapa 4: Clasificación granulométrica por tamizado

- Cargar el material triturado sobre la criba superior (19 mm o 25 mm según el árido grueso objetivo). Tamizar durante 2 a 3 min por lote de 5 a 10 kg (manual o vibratorio).
- Retirar el retenido en el tamiz superior (árido > 19 mm o 25 mm), retornar a la trituradora para una segunda pasada.
- El material pasante en el tamiz superior se clasifica con el segundo tamiz (4,75 mm, tamiz ASTM N.º 4), el retenido en N.º 4 es el árido grueso reciclado (AGR) y el pasante es el árido fino reciclado (AFR).
- Pesar cada fracción (AGR y AFR) y registrar en la planilla de producción. Guardar en recipientes etiquetados con la fecha, el tipo de RCD de origen y la fracción granulométrica.
- Limpiar las mallas de la criba con escobilla después de cada lote para evitar obstrucción de las aberturas.

4.5. Etapa 5: Análisis granulométrico del árido producido

Esta etapa transforma el proceso de producción en un proceso de caracterización cuantitativa. Se realiza sobre una muestra representativa del árido producido (250 a 500 g para AFR; 2 000 a 5 000 g para AGR).

- Secar la muestra en horno a 105 °C $\times$ 1 h o al sol hasta masa constante.
- Pesar la muestra seca total.
- Encajar la batería de tamices en orden decreciente de abertura (ej. para AFR: N.º 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 + fondo). Para AGR: 1», 3/4», 1/2», 3/8», N.º 4 + fondo.
- Tamizar manualmente durante 5 min (sacudiendo el conjunto en movimiento circular y golpeando lateralmente cada 30 s).
- Pesar el material retenido en cada tamiz y anotar en la planilla.
- Calcular de la siguiente manera: porcentaje retenido en cada tamiz = masa retenida / masa total $\times$ 100%; porcentaje retenido acumulado = suma de retenidos hasta ese tamiz; porcentaje pasante = 100% – retenido acumulado.
- Representar en papel milimetrado (eje X logarítmico con los tamaños de tamiz; eje Y lineal con el % pasante) la curva granulométrica y compararla con los límites de la norma de referencia.
- Calcular el Módulo de Finura del AFR (ver §A.6.2) y determinar la zona granulométrica.

4.6. Etapa 6: Ensayos de calidad del árido reciclado

Ejecutar los ensayos definidos en A.3.6 sobre muestras representativas del AGR y del AFR producidos. Registrar todos los resultados en la planilla de control de calidad con la fecha, el operario responsable y el número de lote.

Con los resultados disponibles, completar la siguiente ficha de calidad del árido producido:

Parámetro	Resultado del lote / Valor de referencia
Densidad aparente seca (kg/m ³)	Resultado: ____ kg/m ³ Referencia AGR: 1 100–1 400 kg/m ³
Absorción de agua (%)	Resultado: ____ % Referencia AGR: < 8% para concreto; < 15% para mortero
Módulo de finura (solo AFR)	Resultado: ____ Rango aceptable para mezcla: 2,2 a 3,2
Índice de lajas y agujas (%)	Resultado: ____ % Máximo: 25% (ASTM C33)
Prueba de yeso (cualitativa)	Resultado: Negativo / Positivo leve / Positivo intenso Aceptable: Negativo o leve
Contenido de contaminantes livianos (%)	Resultado: ____ % Máximo para uso en concreto: 1,0%
Aplicación recomendada según resultados	Árido para concreto no estructural (20 a 30% sustitución) Árido para bloques/adoquines Árido para subbase Árido para mortero Sólo relleno (no apto para mezclas)

4.7. Etapa 7: Fabricación de bloques o adoquines con árido reciclado

El bloque de hormigón con AGR reciclado es el producto de mayor valor pedagógico del PIA, es tangible, ensayable y directamente utilizable en la infraestructura del ITT. El procedimiento sigue la dosificación de referencia de A.3.5, con las siguientes precisiones de operación:

- Humedecer previamente el AGR reciclado con agua (sumergir 30 min antes de mezclar) para saturar su porosidad y evitar que absorba agua del amasado durante la mezcla.
- Integrar, en seco, el cemento con el árido fino natural e incorporar el AGR previamente humedecido y continuar mezclando durante 2 min.
- Añadir gradualmente el agua del amasado, mezclando hasta lograr una consistencia homogénea (consistencia de bloque moldeable que no se deshaga al manipular con las manos).
- Llenar el molde de bloque en dos capas, compactando cada una de estas con 25 golpes de varilla de acero (Ø 16 mm) distribuidos en toda la sección.
- Alisar la superficie superior con espátula. Etiquetar cada bloque identificando la fecha, dosificación, porcentaje de AGR reciclado y el operario.
- Desmoldar a las 24 h. Curar sumergido en agua o bajo arpillera húmeda durante 28 días.
- A los 28 días, ensayar la resistencia a la compresión y registrar el resultado en la ficha de calidad.

5. Diagramas de bloques del proceso

5.1. Diagrama global de entradas y salidas

Entradas y salidas del proceso de tratamiento de RCD y producción de áridos reciclados.

Entradas (materia, energía)	Proceso (tratamiento de RCD)	Salidas (productos y residuos)
- RCD segregados: concreto, mampostería, cerámica. - Energía eléctrica (motor triturador) o energía mecánica humana (maza). - Agua (para ensayo de absorción y curado de bloques). - Cemento, árido natural, agua (para fabricación de bloques)	- Segregación por fracción (visual y manual, pesado por fracción) - Trituración previa (maza) (reducción a < 150 mm) - Trituración (mandíbula o impacto) - Clasificación granulométrica (tamizado, AGR y AFR) - Ensayos de calidad (densidad, absorción, granulometría)	Productos principales: - Árido grueso reciclado AGR (> 4,75 mm). - Árido fino reciclado AFR (< 4,75 mm). - Bloques / adoquines con AGR reciclado. Residuos del proceso: - Yeso y contaminantes segregados (a disposición diferenciada). - Finos de trituración exceso (< 0,075 mm, < 5%). - Metales del concreto (a reciclaje ferroso)

5.2. Diagrama operativo por etapas con puntos de control

Flujo operativo del tratamiento de RCD con puntos de control y decisión.

Nº	Bloque operativo	Operaciones y variables	Punto de control / decisión
1	Recepción y segregación del RCD	Extender el lote. Separar por fracción (concreto, ladrillo, cerámica, yeso y contaminantes). Pesar cada fracción. Registrar.	¿Contaminantes livianos > 1 %? → limpiar manualmente antes de triturar. ¿Yeso visible en la fracción principal? → separar completamente antes de avanzar.
2	Pretrituración manual	EPP completo (pantalla facial). Partir piezas > 150 a 200 mm con maza de demolición sobre placa de acero.	¿Barras de acero expuestas en el concreto? → cortar con cizalla antes de continuar. ¿Piezas < 150 mm? → pasar directo a trituración.
3	Trituración (mandíbula o manual)	Verificar el EPP, guardas de la trituradora y apertura de mandíbulas. Alimentar en porciones de 2 a 3 kg. Recoger el triturado.	¿Atasco de mandíbulas? → DETENER MOTOR, esperar que pare completamente, limpiar con varilla de madera. ¿Ruido metálico inusual? → detener y revisar presencia de barras de acero.
4	Clasificación granulométrica	Tamizar sobre criba 19 mm y N.º 4 (4,75 mm). Pesar AGR y AFR. Retornar sobreesize a la trituradora.	¿Retenido en 19 mm > 20% del lote? → ajustar apertura de mandíbula. ¿Exceso de finos (< 0,075 mm)? → revisar si el RCD tiene exceso de mortero o yeso.
5	Ensayo de calidad del árido	Densidad aparente, absorción del agua y análisis granulométrico (muestra representativa). Prueba de yeso.	¿Absorción > 8%? → árido solo apto para mortero o sub-base. ¿Prueba de yeso positiva intensa? → lote rechazado para concreto; destinar solo a relleno.
6	Dosificación y fabricación de bloques	Prehumedecer AGR 30 min. Mezclar cemento + áridos. Moldear en bloques de 390 × 190 × 190 mm. Compactar. Desmoldar a 24 h. Curar 28 días.	¿Mezcla muy seca (no se moldea)? → añadir agua de 50 mL en 50 mL hasta consistencia correcta. ¿Mezcla muy líquida? → añadir árido fino hasta consistencia seca.
7	Ensayo de resistencia del bloque (día 28)	Colocar bloque entre platos de prensa. Aplicar carga creciente. Registrar carga de rotura. Calcular resistencia (MPa).	¿Resistencia < 5,5 MPa (ASTM C90 Grado N)? → revisar relación a/c, calidad del árido y compactación. Documentar causa y corrección.
8	Cierre del lote y limpieza de equipos	Limpiar las mandíbulas y la criba. Lubricar rodamientos de la trituradora. Limpiar moldes. Registrar cantidad de horas de uso del equipo.	¿Mandíbulas con desgaste visible (rebaja > 5 mm del perfil original)? → registrar y programar la sustitución del revestimiento antes del próximo lote.

6. Balances de materia y energía simplificados

Los balances permiten cuantificar el rendimiento del proceso, planificar la producción y detectar posibles pérdidas excesivas que son un indicador de problemas operativos. Todos los cálculos se realizan manualmente o con calculadora.

6.1. Balance global de materia del proceso de trituración

El balance de materia del proceso de trituración y clasificación de RCD es:

$$m_{\text{RCD,entrada}} = m_{\text{AGR}} + m_{\text{AFR}} + m_{\text{finos,exceso}} + m_{\text{contaminantes,retirados}} + m_{\text{yeso,separado}}$$

Donde:

$m_{\text{RCD,entrada}}$ = masa total de RCD segregado y aceptado para trituración (kg).

m_{AGR} = masa de árido grueso reciclado ($> 4,75$ mm) producido (kg).

m_{AFR} = masa de árido fino reciclado ($< 4,75$ mm) producido (kg).

$m_{\text{finos,exceso}}$ = polvo y finos $< 0,075$ mm generados en la trituración, no aprovechables (kg). Típicamente 2 a 5% para concreto; 5 a 12% para mampostería y cerámica.

$m_{\text{contaminantes,retirados}}$ = masa de plástico, madera y metales retirados en la segregación y postrituración (kg).

$m_{\text{yeso,separado}}$ = masa de yeso separado para disposición diferenciada (kg).

El rendimiento másico del árido aprovechable es:

$$\eta_{\text{árido}} = (m_{\text{AGR}} + m_{\text{AFR}}) / m_{\text{RCD,entrada}} \times 100 \%$$

Para RCD de alta calidad (concreto limpio, bien segregado): $\eta_{\text{árido}} = 85$ a 92% . Para RCD mixto con contaminantes: $\eta_{\text{árido}} = 60$ a 75% .

Ejemplo numérico de balance de producción

Se recibe un lote de 100 kg de RCD de una demolición de muro de concreto del ITT. Tras la segregación: 82 kg de concreto (fracción A), 6 kg de mampostería (fracción A), 4 kg de cerámica (fracción B), 3 kg de yeso (fracción C, separado), 3 kg de madera + plástico + metal (fracción D, separado) + 2 kg de tierra (fracción E).

Masa que ingresa a la trituradora: $82 + 6 + 4 = 92$ kg de RCD es aceptable.

Después de la trituración y el tamizado:

$$m_{\text{AGR}} = 52 \text{ kg} ; m_{\text{AFR}} = 33 \text{ kg} ; m_{\text{finos,exceso}} = 7 \text{ kg}$$

Rendimiento en árido aprovechable:

$$\eta_{\text{árido}} = (52 + 33) / 92 \times 100\% = 92,4\%$$

Distribución de la producción respecto al lote inicial de 100 kg:

- AGR (52 kg = 52% del lote): árido para bloques de hormigón con 20% de sustitución.
- AFR (33 kg = 33% del lote): árido para mortero de nivelación o subbase.
- Finos exceso (7 kg = 7%, sobre lo esperado): investigar si hay exceso de mortero adherido o si la apertura de mandíbula es demasiado estrecha.
- Yeso + contaminantes (8 kg): buena segregación; dentro del rango esperado.

6.2. Cálculo del módulo de finura y construcción de la curva granulométrica

El módulo de finura (MF) del árido fino reciclado se calcula a partir del tamizado en serie. La fórmula es:

$$MF = \Sigma (\% \text{ retenido acumulado en tamices } 3/4'', 3/8'', N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100) / 100$$

Para calcular el MF manualmente a partir de una planilla de tamizado:

Tamiz ASTM	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% retenido acumulado	¿Entra al MF?
3/4"	19,0	—	—	—	Sí
3/8"	9,50	—	—	—	Sí
N.º 4	4,75	—	—	—	Sí
N.º 8	2,36	—	—	—	Sí
N.º 16	1,18	—	—	—	Sí
N.º 30	0,60	—	—	—	Sí
N.º 50	0,30	—	—	—	Sí
N.º 100	0,15	—	—	—	Sí
Fondo	< 0,15	—	—	—	No
TOTAL	—	muestra (g)	100%	$\Sigma = \underline{\hspace{2cm}}$	MF = $\Sigma/100$

6.3. Balance de agua en la dosificación del bloque con árido reciclado

La corrección por absorción del árido reciclado es el balance más importante de la dosificación. El árido reciclado con alta absorción ($\geq 5\%$) absorbe agua durante el mezclado, reduciendo la relación agua/cemento efectivo y produciendo una mezcla más seca de lo calculado. La corrección se realiza prehumedeciendo el árido:

$$m_{\text{agua,pre-humedecido}} = m_{\text{AGR}} \times (Ab_{\text{AGR}} / 100)$$

Donde Ab_{AGR} es la absorción del AGR reciclado (%) determinada en el ensayo SSD.

El agua de amasado de la mezcla se ajusta restando el agua ya absorbida por el árido prehumedecido:

$$m_{\text{agua,amasado,corregida}} = m_{\text{agua,dosificación}} - m_{\text{agua,pre-humedecido}}$$

Ejemplo numérico de corrección por absorción

Dosificación para 10 bloques: 3 kg de AGR reciclado con absorción SSD medida = 6,5%. Agua de dosificación calculada originalmente = 4,5 L.

Agua absorbida por el AGR durante el pre-humedecido (30 min):

$$m_{\text{agua,pre-humedecido}} = 3,0 \times (6,5 / 100) = 0,195 \text{ kg} \approx 195 \text{ mL}$$

Agua de amasado corregida:

$$m_{\text{agua,amasado}} = 4,5 \text{ L} - 0,195 \text{ L} = 4,305 \text{ L} \approx 4,3 \text{ L}$$

→ El prehumedecido del AGR absorbe 195 mL de agua que ya no consumirá durante el mezclado, por lo que se agrega 4,3 L de agua al amasado en lugar de 4,5 L. Sin esta corrección, la relación a/c efectiva sería menor de la calculada y la mezcla quedaría más seca, con mayor dificultad de compactación y potencial reducción de la resistencia final.

6.4. Estimación del potencial de producción de árido y de bloques por lote de RCD

Para planificar la escala del PIA según el volumen de RCD disponible en el ITT, se usa la siguiente relación estimada (basada en el ejemplo del §A.6.1):

$$N_{\text{bloques}} = m_{\text{AGR_disponible}} / (m_{\text{AGR,por_bloque}} \times (1 + \text{exceso_de_mezcla}))$$

Donde $m_{\text{AGR,por_bloque}}$ es la masa de AGR reciclado por bloque (0,30 kg para sustitución del 20% en bloque de 390×190×190 mm) y $\text{exceso_de_mezcla} \approx 0,05$ (5% de desperdicio de mezcla).

Con 52 kg de AGR producidos en el ejemplo del §A.6.1:

$$N_{\text{bloques}} \approx 52 / (0,30 \times 1,05) \approx 165 \text{ bloques}$$

Esto significa que 100 kg de RCD de concreto bien segregado producen materiales suficientes para fabricar aproximadamente 165 bloques de demostración. La producción real varía según la calidad del RCD y el porcentaje de sustitución elegido.

7. Criterios de seguridad operacional

El tratamiento de RCD involucra los riesgos mecánicos más severos de toda la secuencia de PIA, que incluyen la proyección de fragmentos pétreos a alta velocidad, el atrapamiento en la trituradora y la exposición a polvo de sílice cristalina. La correcta aplicación del EPP y de los protocolos operacionales no son opcionales, son obligatorios en este PIA.

7.1. Identificación de peligros

Categoría	Peligro	Población expuesta	Mecanismo / Prevención
Mecánico - CRÍTICO	Proyección de esquirlas y fragmentos pétreos durante la trituración manual y motorizada.	Operarios y personas cercanas en un radio de 3 m.	Pantalla facial completa OBLIGATORIA (no solo gafas). Acordonar el área de 3 m de radio. Nunca inclinar la cabeza sobre la boca de la trituradora durante la operación.
Mecánico - CRÍTICO	Atrapamiento de manos en las mandíbulas de la trituradora.	Operarios en la alimentación.	La tolva de alimentación debe impedir el acceso de la mano al interior. Alimentar con pala o pinzas metálicas, NUNCA con las manos. Parada de emergencia visible y accesible.
Respiratorio - CRÍTICO	Inhalación de polvo de sílice cristalina (cuarzo) durante la trituración de concreto y mampostería.	Todos los presentes en el área de trituración.	La exposición crónica al polvo de sílice causa silicosis (enfermedad pulmonar irreversible). El uso de mascarilla FFP2 o P100 es OBLIGATORIO durante toda la trituración. Humedecer el material si el polvo es excesivo. Operar al aire libre.
Mecánico	Cortes y laceraciones con los bordes cortantes del material triturado y de las cuchillas de la criba.	Operarios en el manejo del árido triturado.	Guantes de cuero grueso en todo el proceso. Nunca manipular el árido sin guantes.
Eléctrico	Electrocución o cortocircuito en el sistema eléctrico del motor de la trituradora.	Operarios en arranque y parada del equipo.	Es obligatorio contar con un Interruptor diferencial de 30 mA y la carcasa del motor conectada a tierra. No manipular conexiones con el motor energizado.
Ergonómico	Lesiones músculo-esqueléticas por el esfuerzo de maza y la manipulación manual de bloques de RCD pesados.	Operarios en pretrituración manual y carga de la trituradora.	Trabajo en parejas para piezas > 20 kg. Técnica correcta de levantamiento (rodillas flexionadas y espalda recta). Pausas cada 30 min en trituración manual continua.
Auditivo	Daño auditivo por exposición al ruido de la trituradora y de la maza (> 95-110 dB).	Todos en el área de trituración.	Protección auditiva tipo copa (atenuación ≥ 25 dB) obligatoria durante la trituración. Limitar el tiempo de exposición continua a 30 min por turno sin descanso.

7.2. EPP requerido por operación

Operación	EPP mínimo requerido
Segregación manual del RCD	Guantes de cuero, calzado con punta metálica y ropa de trabajo. No se requiere pantalla facial si las piezas son estables y no se golpean.
Pretrituración con maza	Pantalla facial completa (NO solo gafas ya que la proyección lateral supera el campo de las gafas), guantes de cuero grueso, protección auditiva tipo copa, calzado con punta metálica y calzones o polaina de cuero para proteger piernas. MÍNIMO 2 PERSONAS, una golpea, otra observa y controla.
Operación de la trituradora motorizada	Pantalla facial completa, mascarilla FFP2 o P100 (polvo de sílice), protección auditiva, guantes de cuero, calzado con punta metálica y ropa de trabajo que no tenga elementos colgantes (corbatas, mangas sueltas, cadenas) que puedan ser atrapados por las poleas o las correas.
Tamizado y manejo del árido triturado	Mascarilla FFP2 (para evitar el polvo fino persistente durante el tamizado), gafas de seguridad, guantes de cuero y calzado cerrado.
Mezclado y moldeado de bloques	Guantes de goma o nitrilo (para la protección contra la alcalinidad del cemento que causa dermatitis), gafas de seguridad para salpicaduras de lechada y calzado impermeable.

7.3. Protocolos preoperación, durante y posoperación

Checklist preoperación

- Verificar EPP completo para todos los miembros del equipo, incluyendo pantalla facial y mascarilla FFP2.
- Acordonar el área de trituración (en un radio de 3 m) con cinta de señalización. Nadie debe entrar al área acordonada durante la trituración motorizada.
- Verificar el estado de las guardas de la trituradora, la tensión de las correas, el apriete de los pernos y el funcionamiento del interruptor de emergencia
- Confirmar que no hay barras de acero expuestas en el RCD a triturar (cortar previamente con cizalla si las hay).
- Confirmar disponibilidad de botiquín de primeros auxilios y ducha de ojos (o bidón de agua limpia para el lavado de ojos) en el área de trabajo.

Durante la operación

- Mantener el área acordonada durante toda la trituración motorizada.
- Ante cualquier ruido metálico inusual en la trituradora (golpe de barra de acero o bloqueo de una pieza grande): detener el motor de inmediato, esperar que pare completamente y limpiar desde la parte superior con la varilla de madera.
- Si el polvo de sílice supera la visibilidad de 2 a 3 m en el área de trabajo, humedecer el material con aspersor de agua antes de continuar.
- Registrar en la planilla la masa procesada, el número de atascos y cualquier incidente de seguridad.
- No trabajar de manera solitaria, deben estar por lo menos dos personas en el área durante la trituración motorizada.

Postoperación

- Limpiar las mandíbulas, la criba y el área de trabajo con agua y escoba húmeda (no con soplador ya que levanta el polvo de sílice).
- Lubricar los rodamientos, el cigüeñal y los puntos de articulación de la trituradora.
- Verificar el estado de los revestimientos de la mandíbula, si el desgaste supera los 5 mm del perfil original, programar la sustitución.
- Realizar el lavado de manos y cara con agua y jabón y el cambio de la ropa de trabajo (el polvo de sílice en la ropa puede ser inhalado durante el transporte).

Protocolo de emergencia: Polvo de sílice y lesiones mecánicas

Actuar de inmediato en los siguientes casos:

- Cuando se produce inhalación severa de polvo (tos intensa, dificultad respiratoria), retirar al afectado al aire fresco, aflojar la ropa del cuello, colocar a la persona en posición ligeramente sentada. Llamar al servicio médico. NO administrar agua ni medicamentos sin indicación médica.
- Si ingreso polvo en los ojos lavar abundantemente con agua limpia durante 15 min mínimo, no frotar ni buscar atención médica si la irritación persiste.
- En caso de un corte profundo con material pétreo, presionar con paño limpio, elevar la zona afectada, buscar atención médica. No retirar fragmentos incrustados.
- Si hay atrapamiento en la trituradora NO intentar liberar a la persona tirando hacia atrás. Desconectar el motor de inmediato (con el interruptor de emergencia). Llamar al servicio médico. Esperar la asistencia profesional para la extracción.

El interruptor de emergencia de la trituradora debe ser rojo, de tipo hongo, de fácil acceso (a ≤ 1 m de la boca de alimentación) y correctamente señalado.

8. Equipamiento, herramientas e insumos

La siguiente tabla distingue los equipos autoconstruidos (A) de los equipos a adquirir (C). El presente documento promueve que los principales equipos sean diseñados y construidos por las y los estudiantes de Mecánica Industrial como parte del proceso formativo.

Tipo	N.º	Ítem	Cantidad	Costo referencial (Bs)	Observación
A	1	Trituradora artesanal de mandíbula (autoconstruida).	1	2 500 a 5 000 materiales	Proyecto semestral de Mecánica Industrial. Mandíbulas de acero SAE 1045 o acero al Mn. Boca 150 × 100 mm mínimo.
A	2	Criba vibratoria artesanal de clasificación (autoconstruida).	1	300 a 800 materiales	Marco de madera o tubo galvanizado 25 × 25 mm; mallas de 19 mm, 9,5 mm y 4,75 mm intercambiables. Vibración manual o con excéntrica.
A	3	Moldes de bloque de hormigón 390 × 190 × 190 mm (autoconstruidos).	4–8 ud	150 a 300 c/u	Chapa de acero de 3 a 4 mm, soldada. Sistema de cierre por pernos laterales y base desmontable para facilitar el desmolde.
A	4	Placa de desgaste para pretrituración manual (autoconstruida).	1	80 a 150	Chapa de acero de 10 mm, 60 × 60 cm, soldada a un marco de perfil cuadrado 40 × 40 mm para estabilización.
C	5	Maza de demolición 3 a 5 kg con mango de fibra de vidrio o madera de 80 cm.	2	120 a 250 c/u	Disponible en ferreterías de construcción. El mango de fibra de vidrio absorbe mejor la vibración que el de madera.
C	6	Batería de tamices ASTM (mínimo: 1", 3/4", 3/8", N.º 4, N.º 8, N.º 16, N.º 30, N.º 100).	1 set	800 a 2 000	Inversión compartida entre Construcción Civil y Química Industrial del ITT. Disponible con proveedores de equipos de laboratorio.
C	7	Balanza de plataforma (≥ 30 kg, resolución 20 g).	1	400 a 800	Para pesado de las fracciones segregadas, el árido producido y los bloques.
C	8	Prensa hidráulica con manómetro (≥ 5 t) para ensayo de compresión del bloque.	1	Gata hidráulica 10 t: 300 a 600 Bs; platos de acero para la prensa	Puede fabricarse con el mismo gato hidráulico de la prensa del proyecto de aula. Densificación de biomasa, añadiendo un manómetro y platos de acero.

Tipo	N.º	Ítem	Canti- dad	Costo referen- cial (Bs)	Observación
C	9	EPP por estudiante que incluye pantalla facial completa, mascarilla FFP2, protección auditiva tipo copa, guantes de cuero y calzado con punta metálica.	4 a 6 kits	200 a 400 c/u	Este es el PIA con el EPP más completo de toda la secuencia. La pantalla facial completa es el elemento diferencial respecto a los PIA anteriores. NO puede sustituirse por gafas.
C	10	Extintor de PQS 6 kg + bidón de agua limpia de 20 L para lavado de ojos.	1 c/u	250 a 450 extintor	OBLIGATORIOS. El bidón de agua es el primero que se usa en caso de polvo en los ojos, es preferible contar con la ducha de emergencia si el ITT dispone de ella.

Costo total estimado del equipamiento: entre 4 000 Bs (solo equipos manuales que incluye la maza, la placa de desgaste, la criba artesanal, los moldes, el EPP y los tamices básicos) y 12 000 Bs (por el conjunto completo con la trituradora motorizada, la batería de tamices ASTM completa, la prensa de ensayo y el EPP para 6 estudiantes).

9. Criterios e instrumentos de evaluación

Dimensión	Peso	Instrumento sugerido
Saber (conocimiento)	25%	Examen escrito (45 min): clasificación de fracciones de RCD, mecanismos de fractura, interpretación de curva granulométrica, cálculo de MF, corrección de dosificación por absorción del árido reciclado, normativa de referencia.
Saber hacer: Construcción de equipos	20%	Rúbrica de construcción de la trituradora y/o la criba: dimensiones, calidad de soldaduras, sistema de seguridad (guardas, interruptor de emergencia), funcionamiento en vacío.
Saber hacer: Proceso y caracterización	35%	Rúbrica de proceso (14 ítems): segregación correcta, pretrituración sin incidentes, trituración dentro de granulometría objetivo, tamizado completo, curva granulométrica construida, MF calculado, ensayo de absorción SSD ejecutado, bloque fabricado con corrección de agua, resistencia del bloque a 28 días registrada.
Saber ser (actitudinal)	20 %	Cumplimiento del EPP completo en cada sesión (checklist firmado, la ausencia de pantalla facial durante la trituración descuenta el máximo del ítem), coevaluación del equipo y presentación del árido producido con ficha de calidad completa ante la comunidad educativa.

A.10. Materiales complementarios sugeridos

- **Plantilla de tamizado imprimible en papel A4:** tabla con las columnas Tamiz / Abertura / Masa retenida / % retenido / % retenido acumulado / % pasante, con fila de totales y casilla para el Módulo de Finura calculado. Puede completarse a mano durante el ensayo y escanearse para el portafolio del estudiante.
- **Gráfico de papel milimetrado preimpreso con los límites granulométricos de ASTM C33 (árido grueso y árido fino):** los estudiantes trazan su curva sobre el gráfico y verifican visualmente si está dentro o fuera de los límites. Evita la necesidad de software de graficación.
- **Ficha de calidad del árido reciclado (formato plastificable A5):** tabla de parámetros con los valores de referencia ya impresos y espacio para el resultado del lote, la fecha y el operario. Sirve como certificado básico del lote producido.

- **Cartel de seguridad plastificado A3 para el área de trituración:** fotografías del EPP completo requerido (pantalla facial, mascarilla FFP2, protección auditiva, guantes, calzado), protocolo de atasco de la trituradora, protocolo de emergencia por lesión. Colocar en la pared más cercana a la trituradora.
- **Planos simplificados de la trituradora de mandíbula y de la criba vibratoria artesanal (formato A3, sin software CAD):** lista de materiales con medidas y especificaciones adquiribles en ferreterías y cortes metálicos locales.

Nota final para el docente

Este Anexo concluye el Proceso Integrador y cierra la secuencia de Proyectos Integradores de Aula de la Guía Temática de Residuos Sólidos. En conjunto, los cuatro procesos abarcan los principales flujos de residuos valorizables a escala de taller: residuos orgánicos húmedos, biomasa seca, plásticos sintéticos y residuos de construcción y demolición (RCD).

Como cierre de la secuencia, destaca la articulación entre el Proceso N.º 3 y el Proceso N.º 4 (RCD), que plantea el desarrollo e investigación de baldosas y adoquines elaborados con áridos reciclados y fibra plástica triturada. Esta constituye una línea de trabajo emergente con alto valor pedagógico y un importante potencial de aplicación en la construcción de bajo costo en Bolivia.



**LED SERVICIO DE
LIECHTENSTEIN
PARA EL DESARROLLO**

LED Servicio de Liechtenstein para el Desarrollo
Obrajes, Calle 7
La Paz – Bolivia
Tel.: (+591-2) 241-9965, 211-2141 Int. 112
www.swisscontact.bo



swisscontact

Swisscontact
Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico
Calle 15 de Achumani, esquina Iriarte casa # 5
Tel. +591 (2) 2775566
La Paz - Bolivia
www.swisscontact.bo