

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE QUÍMICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Ambiental

**“Centros municipales de recuperación de residuos sólidos valorizables en Costa Rica:  
situación actual y guía de buenas prácticas”**

Keneth José Masís Leandro

CARTAGO, septiembre, 2018

**TEC** | Tecnológico de Costa Rica  
Ingeniería Ambiental

**“Centros municipales de recuperación de residuos sólidos valorizables en Costa Rica:  
situación actual y guía de buenas prácticas”**

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

**Miembros del tribunal**



---

**PhD. Lilliana Abarca Guerrero**  
**Director**



---

**MSc. Luis Diego Jiménez Góngora**  
**Lector 1**



---

**Lic. Victoria Rudín Vega**  
**Lector 2**



---

**MSc. Diana Zambrano Piamba**  
**Coordinador COTRAFIG**



---

**PhD. Floria Roa Gutiérrez**  
**Directora Escuela de Química**



---

**Ing. Ana Lorena Arias Zúñiga**  
**Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres, Sandra y José, por estar siempre presentes, por ser un puerto seguro en mi vida sin importar cuanto arrecien las olas. Son mi fuente perenne de motivación.*

*A mis hermanos, Melvin y Kevin, por retarme a aspirar más alto, a llegar más lejos, a no quedarme nunca quieto y por estar siempre dispuestos a emprender juntos.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, porque sin ellos no hubiera sido siquiera posible comenzar este camino. A Anayancy, por darme fuerza para completar el último tramo.

A todos los gestores ambientales y demás funcionarios municipales que sacaron de su tiempo para completar la encuesta y especialmente aquellos que me recibieron de manera atenta en sus cantones.

A todos los funcionarios del TEC que colaboraron de una u otra manera desde sus diferentes funciones para las actividades de este trabajo que realicé en la institución.

A mi tutora Lilliana Abarca, por su tiempo y conocimiento, por ser un ejemplo de pasión y entrega en la labor docente y profesional.

A todo el personal docente y administrativo de la Escuela de Química y Carrera de Ingeniería Ambiental, así como a mis compañeros, por haber contribuido a mi formación académica y personal a lo largo de estos años.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1	<i>OBJETIVOS</i>	2
1.1.1	Objetivo general	2
1.1.2	Objetivos específicos	2
<b>2</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
2.1	<i>GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS</i>	3
2.1.1	La problemática de los residuos sólidos	3
2.1.2	Evolución de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS)	3
2.2	<i>CONCEPTOS GENERALES DE LOS CENTROS DE RECUPERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS VALORIZABLES</i>	6
2.2.1	Definición	6
2.2.2	Aspecto técnico y ambiental de los CRRV	7
2.2.3	Tipos de CRRV	9
2.2.4	Actividades del proceso operativo de un CRRV	12
2.3	<i>CRRV EN COSTA RICA</i>	13
2.3.1	Marco Legal	13
2.3.2	Iniciativas de apoyo a los CRRV	14
2.4	<i>BUENAS PRÁCTICAS</i>	15
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>16</b>
3.1	<i>LUGAR DE ESTUDIO</i>	16
3.2	<i>IDENTIFICAR LOS FACTORES TÉCNICOS Y AMBIENTALES QUE AFECTAN EL DISEÑO Y LA OPERACIÓN DE LOS CRRV</i>	16
3.2.1	Revisión de literatura	16
3.2.2	Elaboración de encuesta	17
3.2.3	Validación de la encuesta	17
3.3	<i>PROPONER BUENAS PRÁCTICAS CORRESPONDIENTES A LOS FACTORES TÉCNICOS Y AMBIENTALES IDENTIFICADOS</i>	18
3.3.1	Procesamiento de la información de la encuesta	18
3.3.2	Visitas de campo	18
3.4	<i>VALIDAR LAS BUENAS PRÁCTICAS PROPUESTAS PARA LOS CRRV MUNICIPALES EN COSTA RICA</i>	19

<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>20</b>
4.1	<i>FACTORES TÉCNICOS Y AMBIENTALES QUE AFECTAN EL DISEÑO Y LA OPERACIÓN DE LOS CRRV</i>	20
4.1.1	Casos de estudio	20
4.1.2	Localización y características del terreno donde se ubica el CRRV	21
4.1.3	Infraestructura	22
4.1.4	Gestión de materia prima	23
4.1.5	Tecnología disponible	27
4.1.6	Gestión del recurso humano	28
4.1.7	Procedimientos de trabajo	33
4.2	<i>BUENAS PRÁCTICAS CORRESPONDIENTES A LOS FACTORES TÉCNICOS Y AMBIENTALES IDENTIFICADOS</i>	38
4.2.1	Localización y características del terreno donde se ubica el CRRV	38
4.2.2	Infraestructura	39
4.2.3	Gestión de materia prima	41
4.2.4	Adquisición de equipo	42
4.2.5	Gestión del recurso humano	43
4.2.6	Procedimientos de trabajo	46
4.3	<i>VALIDACIÓN DE LAS BUENAS PRÁCTICAS PROPUESTAS PARA LOS CRRV MUNICIPALES DE COSTA RICA</i>	48
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>51</b>
5.1	<i>CONCLUSIONES</i>	51
5.2	<i>RECOMENDACIONES</i>	52
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>54</b>
	<b>APÉNDICE</b>	<b>61</b>
	Apéndice 1: Encuesta dirigida a responsables de los Centros Municipales de Recuperación de Residuos Valorizables	62
	<b>ANEXOS</b>	<b>71</b>
	Anexo 1: Programa del curso recuperador(a) de desechos sólidos impartido por el INA	<b>72</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Jerarquía en la gestión de residuos. Fuente (Ley N° 8839, 2010).....	5
Figura 2.2. Etapas de la GIRS. Adaptado de (ADB, 2013; Leblanc, 2017).....	6
Figura 2.3. Sistema simplificado de gestión de residuos. Adaptado de (ADB, 2013). .....	7
Figura 2.4. Esquema de un CRRV típico. Adaptado de (WRAP, 2006).....	12
Figura 3.1. Taller de validación de buenas prácticas.....	19
Figura 4.1. Instalación sin malla perimetral y con una única entrada para residuos y materiales.....	22
Figura 4.2. Categorías propuestas en la ENSRVR para la separación de residuos en la fuente. Adaptado de Tan Fácil Como (2017). .....	25
Figura 4.3. Requisitos para canjear residuos por ecolones. Tomado de Ecolones (2018). ..	26
Figura 4.4. Mesa de clasificación. ....	27
Figura 4.5. Bolsa de clasificación con la apertura plegada. ....	32
Figura 4.6. Herramienta para quebrar vidrio manualmente en el CRRV 14.....	35
Figura 4.7. Inadecuadas condiciones de almacenamiento al aire libre.....	36
Figura 4.8. Instalación con diseño en U. ....	40
Figura 4.9. Recipiente para clasificación con características inadecuadas (izquierda) y adecuadas (derecha).....	45
Figura 4.10. Adecuadas condiciones de almacenamiento al aire libre. ....	46



## LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1. Normativa nacional referente a los CRRV. ....	13
Cuadro 4.1. Región socioeconómica y años de operación de los CRRV estudiados. ....	20
Cuadro 4.2. Categorización de los CRRV estudiados con base en la cantidad de materiales vendidos.....	23
Cuadro 4.3. Cantidad de residuos procesados y materiales vendidos por los CRRV estudiados. ....	24
Cuadro 4.4. Forma de clasificar los materiales en los CRRV estudiados. ....	27
Cuadro 4.5. Principales equipos disponibles para el procesamiento de los materiales separados. ....	28
Cuadro 4.6. Tipo y cantidad de personal permanente en los CRRV estudiados. ....	29
Cuadro 4.7. Cantidad de residuos no recuperables en los CRRV estudiados. ....	38
Cuadro 4.8. Buenas prácticas para la escogencia del terreno donde ubicar las instalaciones. ....	39
Cuadro 4.9. Buenas prácticas para el diseño de la infraestructura del CRRV. ....	40
Cuadro 4.10. Buenas prácticas para mejorar la calidad de los residuos que ingresan al CRRV. ....	42
Cuadro 4.11 Buenas prácticas para la adquisición de equipo. ....	43
Cuadro 4.12. Buenas prácticas para la gestión del recurso humano. ....	44
Cuadro 4.13. Buenas prácticas para el diseño de las estaciones de clasificación.....	45
Cuadro 4.14. Buenas prácticas para los procedimientos de trabajo del CRRV.....	47

## LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ADB	Asian Development Bank
Aliarse	Fundación para la Sostenibilidad y la Equidad
CRRV	Centro de Recuperación de Residuos Valorizables
CYMA	Programa Competitividad y Medio Ambiente
EEA	European Environment Agency (EEA).
ENSRVR	Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos
GAM	Gran Área Metropolitana
GIRS	Gestión Integral de Residuos Sólidos
INA	Instituto Nacional de Aprendizaje
IRA	Illinois Recycling Association
MS	Ministerio de Salud
SAyDS	Secretaría de Desarrollo Humano y Política Ambiental de Argentina
UE	Unión Europea
UNEP	United Nations Environment Programme
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VICAL	Grupo Vidriero Centroamericano
WRAP	Waste and Resources Action Programme

## RESUMEN

La promoción de Centros de Recuperación de Residuos Valorizables (CRRV) forma parte de la estrategia país para aumentar el porcentaje de residuos recuperados para su valorización. Sin embargo, existe un vacío de conocimiento sobre el manejo y los procesos productivos de los CRRV a nivel nacional, lo que afecta el buen desempeño de las instalaciones. Este documento explora los factores técnicos y ambientales relacionados con la infraestructura, la tecnología y los procedimientos de trabajo de los CRRV de propiedad municipal en el país y propone buenas prácticas para su diseño y operación. Se obtuvo información a través de una encuesta de 15 CRRV municipales, de los cuales 5 fueron visitados para corroborar y ampliar la información recolectada. En el 80% de las instalaciones estudiadas, se procesan menos de 41 ton / mes de residuos y en el 93% de ellas la operación de separación se lleva a cabo manualmente sobre una superficie estática. La ubicación, topografía y accesibilidad de los terrenos son en general adecuadas y no afectan negativamente el desempeño de las instalaciones. En la mayoría de los casos la infraestructura no fue diseñada para funcionar como un CRRV, por lo que sus características no están orientadas a una máxima eficiencia en la operación. La ausencia de registros y procedimientos de trabajo escritos es una constante en los casos estudiados. En la mayoría de las instalaciones, se identificaron condiciones ergonómicas inadecuadas en las estaciones de clasificación, ausencia de métodos para evaluar el desempeño de los operarios y deficiencias en el proceso de capacitación del personal. Las buenas prácticas propuestas para influenciar los factores identificados fueron validadas en un taller con representantes del sector.

**Palabras clave:** Gestión Integral de Residuos Sólidos, Costa Rica, Municipalidad, Centro de Recuperación de Residuos Valorizables, Infraestructura, Tecnología, Procedimientos de trabajo, Buenas prácticas.

## **ABSTRACT**

The promotion of Material Recovery Facilities (MRF) is part of the country strategy to increase the percentage of recovered waste. However, there is a knowledge gap on the management and production processes of the MRF at the national level, which affects the good performance of the facilities. This document explores the technical and environmental factors related to the infrastructure, equipment and work procedures of municipally owned MRF in the country and proposes good practices for its design and operation. Information of 15 municipal MRF was obtained via a survey, of which 5 were visited in order to corroborate and expand the information collected. In 80% of the facilities, less than 41 ton / month of waste are processed and in 93% of them the separation operation is carried out manually on a static surface, this separation method is suitable for the quantity of waste processed in 87% of cases. The location, topography and accessibility of the lands are generally adequate and do not negatively affect the performance of the facilities. In most cases, the infrastructure was not designed to function as a MRF, so its characteristics are not oriented to maximum efficiency in the operation. The absence of records and written work procedures is a constant in the facilities studied. In most cases, inadequate ergonomic conditions were identified in the classification stations, absence of methods to evaluate the performance of the operators and deficiencies in the personnel training process. The good practices proposed to influence the identified factors were validated in a workshop with representatives of the sector.

**Key words:** Integrated Solid Waste Management, Costa Rica, Municipality, Material Recovery Facility, Infrastructure, Technology, Work procedures, Best practices.

## 1 INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos sólidos con énfasis en la recuperación y valorización se ha convertido en una tendencia global (Troschinetz, 2005). Como parte de ese proceso, los Centros de Recuperación de Residuos Valorizables (CRRV) han pasado a jugar un rol central en los sistemas actuales de gestión de residuos. Los CRRV funcionan como un paso intermedio entre su recolección y valorización permitiendo aumentar la cantidad de materiales recuperados y la reducción de los costos de toda la cadena de manejo (Cimpan et al., 2015; Zafar, 2017).

En Costa Rica, diversas leyes y reglamentos promueven y regulan el establecimiento de los CRRV. La Ley N° 8839 para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos (2010) dispuso, en su artículo 8, el deber de las municipalidades de garantizar que en su territorio se brinde el servicio de centros de recuperación de materiales. Además, en la Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos (ENSRVR) (MS, 2016a) se establece que las autoridades locales deben valorar la construcción de esta clase de instalaciones. En la actualidad según datos de la Fundación para la Sostenibilidad y la Equidad (Aliarse), un 30,4% de las municipalidades del país cuentan con CRRV de su propiedad (L.D. Jiménez, comunicación personal, junio 8, 2018).

A pesar de ser promovidos en la legislación, existe un vacío de conocimiento en el país sobre el manejo y los procesos productivos de los CRRV. Muchas municipalidades enfrentan dificultades en la operación de sus CRRV, pues frecuentemente los costos de operación resultan demasiado elevados y la calidad con que se separan los materiales no es suficiente para acceder a un precio competitivo en el mercado. En ocasiones, los municipios se ven obligados a transportar al sitio de disposición final los residuos valorizables tal y como son recolectados, debido a que la capacidad de procesamiento del CRRV se encuentra saturada (M. López, comunicación personal, octubre 10, 2017) (M. Torres, comunicación personal, setiembre 14, 2017) (G. Gómez, comunicación personal, setiembre 14, 2017).

Los CRRV son instalaciones industriales y por lo tanto su eficiente funcionamiento depende de que se sigan criterios técnicos para su planificación, diseño y operación (Campos, 2014). Este trabajo se ha realizado con la meta de brindar a los encargados municipales de los CRRV una guía con buenas prácticas relativas a su diseño y operación, de forma que se aumente la eficiencia de las instalaciones por medio de un incremento en el porcentaje de residuos que se logra recuperar, la reducción de los costos de operación y la mejora en la gestión ambiental.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo general

Desarrollar una guía de buenas prácticas técnicas y ambientales para la operación y diseño de centros municipales de recuperación de residuos sólidos valorizables en Costa Rica.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Analizar la situación actual de los CRRSV municipales en Costa Rica respecto a los factores técnicos y ambientales.
- Proponer buenas prácticas correspondientes a los factores técnicos y ambientales identificados.
- Validar las buenas prácticas propuestas para los CRRSV municipales de Costa Rica.

## **2 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS**

#### **2.1.1 La problemática de los residuos sólidos**

De acuerdo con estimaciones el Banco Mundial en el año 2012 las ciudades alrededor del mundo generaron un total de 1300 millones de toneladas de residuos sólidos municipales, esperándose que esta cifra aumente a 2200 millones de toneladas para el año 2025 (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012). En Costa Rica, según estimaciones del Ministerio de Salud (MS), la producción diaria de residuos sólidos municipales alcanzó las 4000 toneladas en el 2014, lo que representa un aumento de 2,8 veces con respecto a lo producido en 1991 (MS, 2016b). El inadecuado tratamiento de estos residuos, además de desperdiciar su valor como recurso, constituye una amenaza a la salud pública y al medio ambiente.

En ausencia de regulaciones públicas, así como de fiscalización de su cumplimiento, los generadores individuales como viviendas, comercios e industrias tienden a deshacerse de los residuos utilizando las alternativas más económicas a su disposición, lo que puede ser quemarlos o arrojarlos a calles, lotes baldíos y cuerpos de agua. Los residuos sólidos liberados al ambiente constituyen un medio idóneo para la reproducción de vectores transmisores de enfermedades infecciosas como dengue o cólera, provocando además la muerte de especies por ingestión o sofocamiento. Por otro lado, quemar los residuos da como resultado la liberación a la atmósfera de partículas causantes de enfermedades respiratorias que además contribuyen a agudizar fenómenos climáticos como el calentamiento global (UNEP, 2015).

#### **2.1.2 Evolución de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS)**

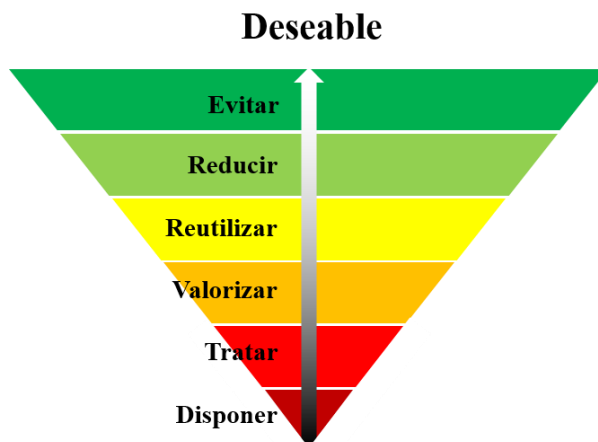
La rectoría pública sobre el manejo de residuos surgió a mediados del siglo XIX en Inglaterra. La acumulación de residuos en las calles y el subsecuente deterioro en la calidad de vida en las ciudades elevó el clamor popular por una autoridad de carácter público con competencias para remover los residuos y disponerlos de manera que no interfirieran en la

dinámica urbana (Lewis, 2007). Hasta finales del siglo XX, la recolección organizada de los residuos en las aceras y su disposición final fue considerado un método óptimo para hacer frente a esta problemática. Transportar los residuos lejos de la población y enterrarlos permitía librarse de los efectos adversos inmediatos de su acumulación en los centros urbanos (EEA, 2009).

Sin embargo, conforme los sitios de disposición final resultaban insuficientes para la creciente generación de residuos, haciéndose necesaria su ampliación, se hicieron patentes problemas no considerados con anterioridad. Con el tiempo, los residuos orgánicos enterrados en sitios de disposición final dan paso a la formación de metano, un potente gas de efecto invernadero que es liberado a la atmósfera, además conforme el agua de lluvia se infiltra por entre las capas de residuos se disuelven una gran cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos, cuya combinación puede dar lugar la formación de compuestos tóxicos que terminan por alcanzar las aguas subterráneas. Por otro lado, los sitios de disposición final representan una amenaza para la biodiversidad pues la fauna característica de las zonas donde se establecen se ve desplazada por especies más voraces que se alimentan de los residuos. Finalmente, se encuentran los efectos adversos que percibe la población residente en zonas cercanas; el olor, tráfico y ruido pueden provocar la pérdida de valor de las propiedades y efectos adversos sobre la salud (EEA, 2009).

La capacidad limitada de los sitios de disposición final y la conciencia cada vez más clara de su impacto ambiental, llevaron a la comunidad internacional a replantearse la conveniencia de hacer frente a la problemática de los residuos sólidos procurando su disposición final. Es así como en 1975 la Directiva Marco sobre Residuos de la Unión Europea introduce por primera vez el concepto de jerarquía en la gestión residuos (Troschinetz & Mihelcic, 2009). Desde la introducción del concepto en 1975 el enunciado de la jerarquía ha sufrido algunas modificaciones. En la Figura 2.1 se muestra tal como aparece, para el caso de Costa Rica, en la Ley N° 8839 (2010).





**Figura 2.1. Jerarquía en la gestión de residuos. Fuente (Ley N° 8839, 2010).**

De acuerdo con la prioridad establecida se debe procurar en primer lugar evitar o reducir al máximo la generación de residuos desde el origen, y una vez estos son generados anteponer su reutilización y valorización a la disposición final. La reutilización consiste en cualquier operación mediante la cual productos o componentes se utilizan nuevamente con la misma finalidad para la que fueron concebidos, mientras que valorización es el conjunto de acciones cuyo propósito es recuperar el valor de los residuos para los procesos productivos, de manera que se sustituya la utilización de materias vírgenes. Tratamiento por su parte hace referencia las operaciones tendientes a preparar los residuos ya sea para su valorización o disposición final. Entre los métodos de valorización se encuentra el reciclaje, el compostaje y el aprovechamiento energético (UE, 2008; Ley N° 8829, 2010).

A partir de los principios de la jerarquía surge el concepto de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) el cual tiene un enfoque que va más allá de la eficiente recolección y disposición de los residuos. La GIRS abarca el control de todas las acciones realizadas en procura de obtener el máximo beneficio social de los residuos y reducir su impacto en el ambiente, así como el marco legal que sustenta estas acciones. (Leblanc, 2017). Las etapas que conforman la GIRS aparecen en la Figura 2.2.

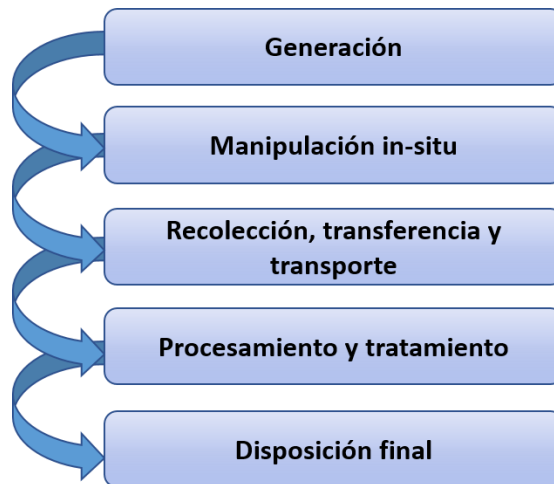


Figura 2.2. Etapas de la GIRS. Adaptado de (ADB, 2013; Leblanc, 2017).

Como parte de la etapa de manipulación in-situ se incluyen la separación de los residuos en la fuente y su almacenamiento temporal. Dentro del componente de procesamiento y tratamiento se incluyen las actividades de valorización que se llevan a cabo en las plantas de compostaje, los centros de recuperación de materiales valorizables y otras instalaciones de aprovechamiento de residuos (ADB, 2013; Leblanc, 2017).

## 2.2 CONCEPTOS GENERALES DE LOS CENTROS DE RECUPERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS VALORIZABLES

### 2.2.1 Definición

Para que los residuos puedan ser efectivamente valorizados deben de fluir desde las fuentes generadoras hasta los entes capaces de utilizarlos en sus procesos productivos en sustitución de otros materiales. Los primeros programas de recolección de residuos para su valorización, en los años 80, estaban enfocados en pocos materiales como vidrio y papel y requerían que estos fueran separados desde la fuente para su recolección y transporte en corrientes individuales a las empresas valorizadoras. Sin embargo, las limitaciones de este modelo se hicieron evidentes conforme se incorporaron un mayor número de materiales, incluyendo la disposición del público a participar y el costo de recolectar un número creciente de corrientes individuales. Recolectar los residuos mezclados y separarlos en una estación central fue visto entonces como una manera de reducir la complejidad de la recolección y aumentar la participación pública (Cimpan et al., 2015).

Las estaciones centrales de separación de residuos, reconocidas en la legislación costarricense como Centros de Recuperación de Residuos Valorizables (CRRV), funcionan como un paso intermedio entre la recolección de residuos a los generadores y su venta en el mercado de materiales para su aprovechamiento productivo (Zafar, 2017). Los CRRV juegan un rol central en los sistemas actuales de gestión integral de residuos sólidos, tal como se muestra en la Figura 2.3, permitiendo aumentar la cantidad de materiales recuperados y la reducción de los costos de toda la cadena de manejo (Cimpan et al., 2015). En Costa Rica, la normativa define a los CRRV como “*un sitio permanente de almacenamiento temporal de residuos para su valorización, donde los materiales recuperables son pesados y pueden ser clasificados y separados de acuerdo a su naturaleza*” (Decreto N° 35906, 2010).

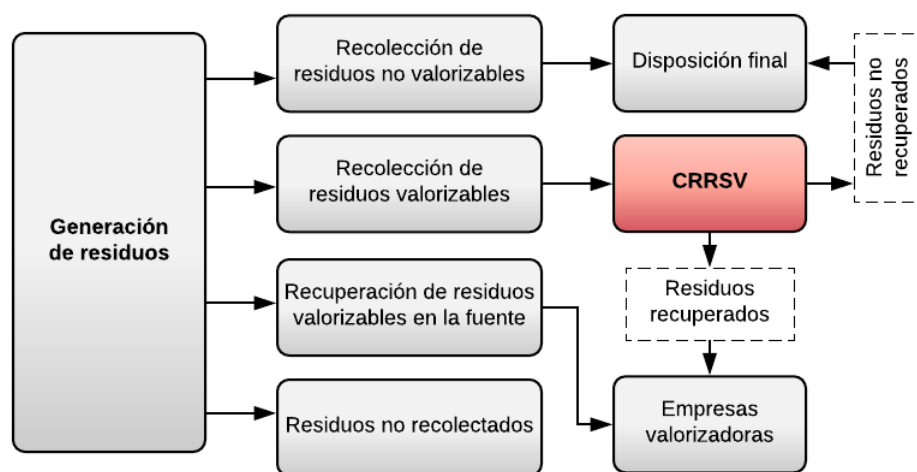


Figura 2.3. Sistema simplificado de gestión de residuos. Adaptado de (ADB, 2013).

### 2.2.2 Aspecto técnico y ambiental de los CRRV

Como eslabón del sistema de gestión, los CRRV están sujetos a la interacción de aspectos técnicos, financieros/económicos, ambientales, socioculturales, institucionales y político/legales (Abarca et al., 2013). En el caso de la presente investigación el enfoque recaerá sobre el aspecto técnico y el ambiental.

Los CRRV son instalaciones industriales, donde a partir de una materia prima (corriente de residuos de entrada) se obtiene un producto (materiales valorizables separados). El aspecto técnico de este proceso, también llamado técnico-productivo, es el relacionado con la utilización de los recursos y materia prima disponible para dar como resultado el producto o servicio requerido (Campos, 2014). Por su parte, el aspecto ambiental hace referencia al entendimiento y control de la interacción que las distintas actividades del establecimiento y la operación de un CRRV tienen con el medio ambiente circundante (USEPA, 1995).

Como cualquier instalación industrial los CRRV deben ser apropiadamente planificados y diseñados si se quiere obtener un máximo desempeño desde el punto de vista técnico y ambiental. El diseño estructural, eléctrico y de fontanería debe hacerse teniendo en mente las actividades que se llevarán a cabo en las instalaciones. De la misma manera los operarios del CRRV deben estar capacitados para las actividades que desempeñan y la supervisión de la operación debe recaer en un profesional calificado (Campos, 2014).

Para la escogencia del sitio donde ubicar un CRRV y el diseño de las instalaciones debe considerarse el impacto ambiental, la seguridad y la eficiencia de la futura operación. Esto involucra abordar cuestiones como la localización y características del terreno, la disposición de las instalaciones, el flujo de los procesos operativos y la seguridad de los empleados (IRA, 2010). El diseño de la estructura y planta interna del CRRV debe ajustarse de acuerdo con diferencias regionales como la composición de la corriente de residuos de entrada, la disponibilidad de mano de obra y los marcos regulatorios (Cimpan et al., 2015).

La eficiente operación de un CRRV involucra también proveer del equipamiento adecuado y de condiciones de trabajo confortables y seguras para los operarios. La productividad de un CRRV puede aumentar significativamente por medio de capacitación al personal, optimización de procedimientos de trabajo y adecuado equipamiento. Las políticas, procedimientos y prácticas empleadas durante la operación constituyen un factor clave en la eficiencia del CRRV (IRA, 2010).

### 2.2.3 Tipos de CRRV

Los centros de recuperación pueden ser categorizados con base en diferentes criterios, como son el grado de mecanización de las instalaciones y el tipo de corriente de residuos que reciben.

#### *Categorización por tipo de corriente de residuos de entrada*

Existe una relación fundamental entre el sistema de recolección de los residuos que se llevan al CRRV y el diseño del proceso de separación en las instalaciones (WRAP, 2006). En primer lugar, los CRRV pueden categorizarse como de tipo *sucio* o de tipo *limpio*. Los CRRV limpios procesan residuos provenientes de rutas de recolección específicas para residuos reciclables, en contraposición a un CRRV de tipo sucio, donde se recuperan materiales valorizables a partir de residuos ordinarios (ADB, 2013). A su vez, un CRRV *limpio* puede diseñarse según sea el método mediante el cual se recolectarán los residuos que se procesarán en las instalaciones.

Existen a nivel internacional tres métodos principales de recolectar los residuos reciclables de las fuentes generadoras: sistemas de corriente múltiple, de corriente única y de corriente dual (Waite et al., 2015). En los esquemas de corriente única todos los residuos reciclables se recolectan y transportan mezclados al CRRV. En los sistemas de corriente dual se recolectan ya sean las fibras (papel y cartón) o el vidrio en contenedores separados del resto de los reciclables. En los sistemas de corriente múltiple se exige a las fuentes la separación de los residuos en un mayor número de categorías según el material previo a su transporte al CRRV, por supuesto, debe requerirse aún algún grado de separación adicional de los residuos previo a su envío al mercado pues de lo contrario no sería necesario pasar por el CRRV (WRAP, 2006; Waite et al., 2015).

Un CRRV diseñado para procesar residuos provenientes de un esquema de recolección de corriente única puede recibir y procesar eficientemente materiales provenientes tanto de un sistema dual como de uno múltiple. Mientras que un CRRV diseñado para recibir corriente dual puede separar también corriente múltiple, pero no los

reciclables mezclados. De la misma manera, una instalación diseñada teniendo en mente recibir residuos separados en un mayor número de categorías tiene una mínima capacidad de separación y no posee la flexibilidad para procesar residuos provenientes de otros sistemas de recolección (WRAP, 2006).

En la práctica, los CRRV tienden a recibir y clasificar residuos procedentes de varios programas de recolección. Los diferentes programas pueden recolectar materiales distintos o recolectar los mismos materiales de diferente manera, por lo que el CRRV debe tener la flexibilidad para adecuarse eficientemente a esas variaciones (WRAP, 2006).

### *Clasificación por grado de automatización*

En relación con el grado de automatización de la actividad de separación se distinguen en términos generales las instalaciones de separación manual, las semiautomáticas y las completamente automatizadas. En la separación manual los residuos de entrada son depositados sobre una mesa o en el suelo, donde los materiales valorizables son detectados por los operarios y extraídos utilizando las manos. Este método de separación es intensivo en tiempo y mano de obra, por lo que resulta apropiado únicamente para procesar cantidades relativamente pequeñas de residuos, en el orden de las 2 toneladas por día (ADB, 2013).

Las instalaciones automatizadas hacen uso de diferentes equipos tecnológicos para extraer materiales específicos de la corriente de residuos. Estos equipos están diseñados para aprovechar la diferencia en las propiedades físicas de los distintos materiales, como tamaño de partícula, densidad, propiedades magnéticas y ópticas, para lograr su superación (SAyDS, 2000). Existen 5 tipos principales de equipos de separación:

- Cribas de tambor: Estos dispositivos separan los materiales de acuerdo con el tamaño de la partícula, consisten en tambores rotatorios perforados con agujeros de cierto tamaño. Los materiales con diámetro menor al del agujero caen mientras que los de diámetro mayor permanecen en el tambor (Capel, 2008; ADB, 2013).

- Clasificador de aire: Los materiales se separan con base en su resistencia a ser arrastrados por una corriente de aire, lo que está en función de su tamaño, forma y densidad. Los residuos son introducidos en una cámara que contiene una corriente de aire ascendente. Se utiliza para separar residuos livianos como papel y películas plásticas del resto de los residuos (ADB, 2013; WRAP, 2010).
- Separador magnético: Los residuos se hacen pasar debajo de un imán que retiene los metales ferrosos (ADB, 2013; WRAP, 2010).
- Separador por corriente de Foucault: Se utiliza para separar metales no ferrosos. Una capa delgada de residuos se hace pasar sobre un tambor de Foucault, este dispositivo genera un campo magnético que provoca que los metales no ferrosos sufran un efecto de repulsión y salten una cierta distancia por delante del tambor mientras que los residuos no metálicos caen (Capel, 2008, WRAP, 2010).
- Separador con sensores de infrarrojo cercano (NIR): Los residuos se hacen pasar por un haz de luz y sensores NIR distinguen entre los materiales en base a sus propiedades reflectivas. Si el material está programado para separarse se desvía de su trayectoria utilizando un chorro de aire comprimido específicamente dirigido al objeto (Capel, 2008; WRAP, 2010).

En los países angloparlantes y de Europa continental predominan los centros de recuperación de materiales caracterizados por un alto grado de complejidad técnica, flujos de procesos estandarizados y una alta eficiencia operativa (Cimpan et al., 2015). Existen algunos ejemplos de instalaciones altamente automatizadas en países en desarrollo, sin embargo, la norma son los centros de recuperación con alta dependencia de las operaciones de separación manual. En países en desarrollo existe la tendencia a operar los CRRV en condiciones precarias de higiene y seguridad laboral, muchas veces en la informalidad, con procedimientos de trabajo e infraestructura inadecuada y carencia de profesionales especializados para las labores de gerencia y supervisión (ADB, 2013; Campos, 2014; Lobo et al., 2016; UNEP, 2017).

## 2.2.4 Actividades del proceso operativo de un CRRV

Las operaciones básicas que se realizan en los CRRV inician con el registro de los residuos de entrada. Esta acción permite obtener información necesaria para la optimización de la operación del CRRV. Independientemente de que la separación en el CRRV sea predominantemente manual o automática, existe también típicamente una etapa de preclasificación en la que los trabajadores remueven manualmente en el punto de recepción los materiales no reciclables voluminosos. La etapa de clasificación ya sea manual o automatizada, da paso en algunos casos al procesamiento adicional de los residuos, como puede ser la quiebra del vidrio y la compactación y empaclado de los reciclables para su transporte a las empresas valorizadoras. Puede existir también una etapa de inspección relacionada con el control de calidad del producto obtenido y el cumplimiento de especificaciones de mercado (WRAP, 2006). Finalmente, los materiales valorizables recuperados son cargados y enviados a las empresas recicladoras y los no valorizables a un sitio de disposición final. En la Figura 2.4 se muestra el esquema de un CRRV típico que recibe los reciclables mezclados en una corriente única.

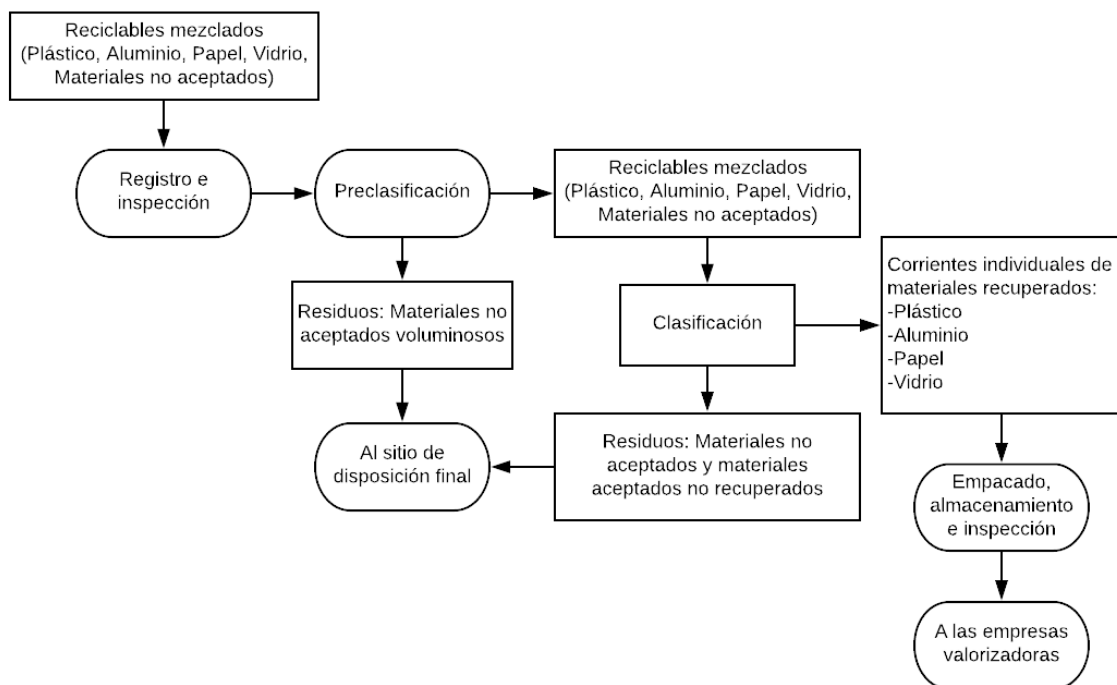


Figura 2.4. Esquema de un CRRV típico. Adaptado de (WRAP, 2006).



## 2.3 CRRV EN COSTA RICA

### 2.3.1 Marco Legal

Son varias las leyes y decretos que regulan en general la gestión integral de residuos sólidos en el país y en específico la figura de los CRRV. Desde el artículo 50 de la Constitución Política “(...) *Toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. (...) El Estado garantizará, defenderá y preservará ese derecho*” se encuentra implícito el deber del Estado de velar por una gestión de residuos ambientalmente responsable.

La adopción de la GIRS en la legislación nacional, así como la promoción de los CRRV, tomó impulso con la Ley GIRS N° 8839 (2010). En la legislación anterior los residuos eran considerados basura sin utilidad y no se contemplaban herramientas para su valorización (CYMA, 2011). A raíz de la publicación de la Ley N° 8839 surge una serie de normativa con disposiciones referentes a los CRRV: Decreto N° 36093-S Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios (MS, 2010a), Decreto N° 35906-S Reglamento de Centros de Recuperación de Residuos Valorizables (MS, 2010b) y Decreto N° 35993-S Reglamento sobre la gestión integral de residuos electrónicos (MS, 2010c). El Cuadro 2.1 muestra la normativa con disposiciones relativas a los CRRV.

**Cuadro 2.1. Normativa nacional referente a los CRRV.**

Normativa	Objetivo
Ley N° 8839 Artículo 7	Establece como competencia del Ministerio de Salud promover incentivos dirigidos al fomento y la capacitación de microempresas y otras organizaciones que trabajan en la recuperación y gestión de residuos (Ley N° 8829, 2010).
Ley N° 8839 Artículo 8	Establece como responsabilidad de las municipalidades promover la creación en sus territorios de centros de recuperación de materiales, con énfasis en los de pequeña y mediana escala (Ley N° 8829, 2010).
Ley N° 8839 Transitorio VII	Autoriza al Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), al Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS), a la Dirección Nacional de Desarrollo de la Comunidad (DINADECO) y al Fondo para el Desarrollo de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (FODEMIPYME) para que capaciten, fortalezcan, financien y ayuden a las microempresas familiares, recuperadores informales y otros grupos comunales dedicados a actividades de recuperación de residuos sólidos (Ley N° 8829, 2010).

### Continuación del Cuadro 2.1.

Normativa	Objetivo
Ley N° 7575 Artículo 33	Establece los retiros a cuerpos de aguas y otras zonas de protección que deben respetarse al momento de construir un CRRV (Ley N° 7575, 2012).
Decreto N° 36093-S	Regula la gestión integral de los residuos sólidos ordinarios, cualquiera que sea la actividad o el lugar de generación (MS, 2010a).
Decreto N° 33745-S	Establece los requisitos, condiciones y controles para el tratamiento de llantas de desecho, considerando criterios sanitarios y ambientales (MS, 2007).
Decreto N° 35906-S	Establece las condiciones físico-sanitarias y de salud ocupacional que deben cumplir las instalaciones de los CRRV para su funcionamiento (MS, 2010b).
Decreto N° 35993-S	Regula la gestión integral de los residuos electrónicos, cualquiera que sea la actividad o el lugar de generación (MS, 2010c).
Decreto N° 39760-S	Armoniza las categorías en que las fuentes generadoras deben separar sus residuos previos al transporte a los CRRV y recomienda a las municipalidades contemplar la factibilidad de construir esta clase de instalaciones (MS, 2016a).
Decreto N° 34728-S	Establece los requisitos que deben cumplir los CRRV para la obtención del permiso sanitario de funcionamiento. Categoriza a los CRRV como de Riesgo A, en el caso de almacenar residuos peligrosos, o de Riesgo B, en caso no gestionar esta clase de residuos (MS, 2012).
Decreto N° 31837-S	Establece que los envases vacíos de agroquímicos deben de recibir <i>triple lavado</i> antes de ser aceptados por la industria cementera para su coprocesamiento (MS, 2017).

La reglamentación existente se enfoca en las condiciones físico-sanitarias de las instalaciones de los CRRV y en aspectos ambientales de su ubicación e infraestructura. Desde la esfera pública y privada se han desarrollado una serie de documentos con el propósito de apoyar a los CRRV en aspectos técnicos de su diseño y operación.

### 2.3.2 Iniciativas de apoyo a los CRRV

Un esfuerzo importante realizado en la promoción del desarrollo de los CRRV en Costa Rica fue el llevado a cabo a principios de la década por el Programa Competitividad y Medio Ambiente (CYMA), una plataforma interinstitucional conformada por Ministerio de Planificación y Política Económica (MIDEPLAN), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), MS, Instituto de Fomento y Asesoría Municipal (IFAM) y Cámara de Industrias de Costa Rica (CICR), apoyada por la Corporación Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ, por sus siglas en alemán). En el marco de este programa se desarrolló una plantilla de Excel para facilitar la evaluación de la viabilidad económica de construir y operar un CRRV en el país.

Otra herramienta desarrollada por el programa fue la *Guía técnica y operativa para centros de recuperación de residuos sólidos valorizables* (CYMA, 2011). Este documento fue concebido con el propósito de brindar a los encargados de los CRRV una fuente de consulta sobre los lineamientos claves para la gestión de su actividad, incluyendo el diseño y la operación de las instalaciones. La guía se enfoca en gran medida en la descripción de teoría sobre gestión de residuos (actores involucrados, beneficios de la GIRS, descripción de los materiales reciclables) y en consideraciones legales y de salud ocupacional. Son pocas las recomendaciones orientadas al diseño del proceso y no se aborda el tema de la eficiencia.

Las publicaciones más recientes tendientes a apoyar la labor de los CRRV son las realizadas por la Fundación Aliarse; un documento en el cual se enuncian las condiciones de las empresas valorizadoras para aceptar residuos (Aliarse, 2016) y la *Guía de buenas prácticas en la implementación del Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos* (Aliarse, 2017) donde se incluye un capítulo dedicado a los CRRV. En este último documento se mencionan aspectos concernientes a la operación de revisión y registro de los residuos de entrada, no se ahonda en otras etapas del proceso operativo.

## 2.4 BUENAS PRÁCTICAS

No solo a partir de complejas y costosas automatizaciones se puede aumentar la eficiencia de un proceso productivo. En general, existen oportunidades de mejora que pasan desapercibidas dentro de una empresa y que tienen un potencial alto de incidencia sobre el desempeño del proceso y un bajo costo de implementación. Este tipo de oportunidades de mejoras es lo que se conoce como *buenas prácticas* y están orientadas a prevenir pérdidas de insumos o recursos, la minimización de residuos, el ahorro de agua y energía y el mejoramiento de la gestión de la empresa (Celdrán et al., 2004).

La aplicación de buenas prácticas en un centro de recuperación de residuos valorizables persigue aumentar la cantidad de residuos recuperados, con la subsecuente reducción del costo de manejar los residuos de que deben disponerse, optimizar el tiempo que tardan los residuos en procesarse, así como aumentar la satisfacción de las empresas recicladoras con el producto del centro de recuperación (Barnala, 2011).

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

La metodología seguida en esta investigación se basa en la utilizada en *Best Operational Practices Manual of Materials Recovery Facilities and Recycling Drop-off Facilities* (IRA, 2010), con la adición final de un taller de validación de las prácticas recopiladas siguiendo la recomendación de la Dr. Lilliana Abarca Guerrero.

#### **3.1 LUGAR DE ESTUDIO**

El objeto de estudio de la investigación fueron los centros de recuperación de residuos valorizables pertenecientes a municipalidades en Costa Rica. Respecto al total de CRRV en el país se decidió enfocarse en los de propiedad municipal por su utilidad pública y facilidad para identificar y contactar a los encargados de las instalaciones.

#### **3.2 IDENTIFICAR LOS FACTORES TÉCNICOS Y AMBIENTALES QUE AFECTAN EL DISEÑO Y LA OPERACIÓN DE LOS CRRV**

##### **3.2.1 Revisión de literatura**

En primer lugar, se realizó una revisión de literatura nacional e internacional con el propósito de identificar los factores que desde el diseño y la operación afectan el desempeño técnico y ambiental de las instalaciones, así como identificar buenas prácticas asociadas con esos factores.

Los factores y las buenas prácticas identificadas fueron agrupados basándose en IRA (2010) y en su relación con las áreas funcionales de una empresa (Pérez, 2016), de la siguiente manera:

1. Localización y características del terreno donde se ubica el CRRV
2. Infraestructura disponible
3. Equipo y mobiliario disponible
4. Gestión de la materia prima
5. Gestión del recurso humano
6. Procedimientos de trabajo

### **3.2.2 Elaboración de encuesta**

Se elaboró una encuesta con el propósito de caracterizar a los CRRV municipales de Costa Rica respecto a los factores identificados en la literatura y evaluar la aplicación de las buenas prácticas recopiladas. Siguiendo la recomendación de la investigadora Dra. Liliana Abarca Guerrero se combinaron preguntas de respuesta corta, selección binomial (Sí/No), escala Likert de 5 puntos y casillas de verificación, según la información que se pretendiera recolectar. La encuesta consta de 7 secciones siguiendo la división que se le dio a los factores y a sus buenas prácticas, en la sección inicial se recopila información de contacto y se cuestiona si la municipalidad es propietaria de un CRRV. La encuesta estuvo estructurada de la siguiente manera:

1. Información General
2. Localización y características del terreno donde se ubica el CRRV
3. Infraestructura disponible
4. Equipo y mobiliario disponible
5. Gestión de la materia prima
6. Gestión del recurso humano
7. Procedimientos de trabajo

Por medio de consulta a profesores de la carrera de Ing. Ambiental del ITCR y revisión de las páginas web y las redes sociales de las municipalidades se recopiló el correo electrónico de los encargados de la gestión integral de residuos en los municipios, obteniéndose el contacto de 76 de las 81 municipalidades del país. No fue posible obtener el contacto de las municipalidades de Tarrazú, Abangares, Coto Brus, Corredores y Matina.

### **3.2.3 Validación de la encuesta**

Antes de ser enviada por correo electrónico la encuesta se aplicó presencialmente en el CRRV de Montes de Oca, con el fin de evaluar su claridad, medir el tiempo de respuesta e introducir las modificaciones pertinentes.

La versión final de la encuesta fue enviada vía correo electrónico a las 76 municipalidades, obteniéndose respuesta de 25, de las cuáles 10 manifestaron no contar con un CRRV, por lo que se obtuvieron 15 encuestas completas para analizar. La encuesta modificada posterior a su aplicación se encuentra en el Apéndice 1 para que pueda ser utilizada por otros investigadores.

### 3.3 PROPONER BUENAS PRÁCTICAS CORRESPONDIENTES A LOS FACTORES TÉCNICOS Y AMBIENTALES IDENTIFICADOS

#### 3.3.1 Procesamiento de la información de la encuesta

Se recibieron únicamente 15 respuestas a la encuesta, por lo que no se realizó análisis estadístico de los datos, sino que todas las respuestas fueron consideradas individualmente como casos de estudio, de manera similar a lo hecho en IRA (2010) donde se elaboró una guía de buenas prácticas a partir del estudio de 11 instalaciones. Con base en la encuesta se determinó la situación de cada CRRV respecto a la aplicación de las buenas prácticas mencionadas en la literatura y se identificó la existencia de falencias comunes entre las instalaciones, así como de casos excepcionales en la aplicación de alguna práctica.

#### 3.3.2 Visitas de campo

A partir de las respuestas de la encuesta y la recomendación del señor MSc. Luis Diego Jiménez, Director de Proyectos Ambientales de la fundación Aliarse (L.D. Jiménez, comunicación personal, junio 8, 2018), se seleccionó tres CRRV para realizar visitas de campo. El propósito de las visitas fue determinar con los encargados la razón de aplicar o no determinadas prácticas y recopilar recomendaciones adicionales utilizadas para incidir en los factores identificados en la literatura.

Se intentó coordinar una visita a los tres CRRV seleccionados, pudiéndose concretar la cita en dos de ellos. Adicionalmente se visitaron otras tres instalaciones, escogidas por su cercanía con la residencia del investigador, para un total de cinco casos. Finalmente se tabuló la lista de buenas prácticas recopiladas en la literatura y durante el trabajo de campo para proceder con su validación.

### 3.4 VALIDAR LAS BUENAS PRÁCTICAS PROPUESTAS PARA LOS CRRV MUNICIPALES EN COSTA RICA

Se convocó a los encargados de los CRRV municipales a un taller participativo en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica. El objetivo del taller fue presentar las buenas prácticas encontradas en la investigación, recibir comentarios respecto a la validez de estas para los cantones de los asistentes y recopilar prácticas adicionales. Asistieron representantes de las municipalidades de Cartago, Paraíso y Belén. La metodología para preparar y conducir el taller se basó en el artículo *¿Cómo hacer talleres participativos con respuestas individuales?* (Richers et al., 2011).

En primer lugar, se hizo una presentación para exponer a los participantes los objetivos de la investigación. Seguidamente se realizó una definición colectiva de conceptos clave por medio de una “lluvia de ideas”, para homogeneizar el entendimiento de los conceptos entre los participantes. Una vez construidos los conceptos se realizó la exposición de la lista preliminar de buenas prácticas y se abrió un espacio para preguntas. Seguidamente se entregó a los participantes una copia de la lista y se les pidió que indicaran cuáles prácticas podrían en su opinión mejorar el desempeño técnico y ambiental de sus instalaciones y cuáles, y por qué razones, consideraban no sería factible implementar. Además, se les solicitó que, en caso de conocer, enumeraran prácticas adicionales que no estuvieran contempladas.



Figura 3.1. Taller de validación de buenas prácticas.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 FACTORES TÉCNICOS Y AMBIENTALES QUE AFECTAN EL DISEÑO Y LA OPERACIÓN DE LOS CRRV.

#### 4.1.1 Casos de estudio

De acuerdo con datos de la fundación Aliarse un 30,4% de las municipalidades del poseen CRRV propio (L.D. Jiménez, comunicación personal, junio 8, 2018). Mediante la encuesta enviada por correo electrónico se obtuvo información de quince CRRV pertenecientes a municipalidades ubicadas en las regiones socioeconómicas Chorotega, Brunca y Central. La mayoría de las instalaciones de la región Central se ubican en el Gran Área Metropolitana (GAM). No se obtuvo autorización por parte de los municipios para nombrar explícitamente el cantón de los CRRV participantes del estudio, por lo cual se hará referencia a las instalaciones con un número, tal como aparece en el Cuadro 4.1 junto con la región socioeconómica en que están ubicados y los años que llevan en operación.

**Cuadro 4.1. Región socioeconómica y años de operación de los CRRV estudiados.**

CRRV	Región socioeconómica	Años en operación
01	Central (GAM)	1
02	Central	10
03	Central (GAM)	3
04	Central (GAM)	4
05	Chorotega	9
06	Chorotega	8
07	Central (GAM)	6
08	Brunca	2
09	Central (GAM)	16
10	Central (GAM)	10
11	Central (GAM)	5
12	Central (GAM)	13
13	Central (GAM)	8
14	Central (GAM)	10
15	Central	12



Como puede observarse en el Cuadro 4.1, doce de los CRRV estudiados se ubican en la región central del país, incluyendo diez de los treinta y un cantones que conforman la GAM, por lo tanto, los resultados de la presente investigación deben entenderse principalmente como reflejo de la situación de esta región del país, requiriéndose investigación adicional sobre los CRRV municipales en otras regiones. Resalta el hecho de que siete de los CRRV iniciaron operaciones antes de la promulgación de la Ley N° 8839 para la Gestión Integral de Residuos sólidos (2010), en el caso de tres de las instalaciones visitadas esto se debe a que antiguamente eran instalaciones privadas que fueron adquiridas posteriormente por el municipio.

#### **4.1.2 Localización y características del terreno donde se ubica el CRRV**

La eficiente operación de un centro de recuperación de residuos inicia con la elección de un terreno con características adecuadas de ubicación, tamaño, topografía, geología y accesibilidad (IRA, 2010). En general las instalaciones estudiadas se encuentran en terrenos ubicados dentro de los centros de población donde se generan los residuos que procesan, sin riesgo de inundación, deslave o hundimiento y con vías de acceso en buen estado, cumpliendo con lo reportado como conveniente en la literatura. Contrario a lo recomendado se encontró en la mayoría de los casos un área insuficiente en relación con la cantidad de residuos procesados y la cercanía del terreno a casas de habitación.

Un CRRV adecuadamente manejado no debería tener problemas con malos olores, insectos o roedores. Sin embargo, la acumulación de residuos cerca de las propiedades colindantes puede generar la oposición de los vecinos al proyecto, por lo cual se recomienda dejar una zona de amortiguamiento (Grandela et al., 2007). Un 53% de las instalaciones estudiadas se encuentran en terrenos colindantes a casas de habitación y no poseen área de amortiguamiento. En uno de los casos visitados, el CRRV 13, se han recibido quejas de los vecinos por temor a la existencia de criaderos de dengue en los residuos acumulados. Por otro lado, en un 60% de los casos estudiados no existe posibilidad de expandir las instalaciones en los terrenos actuales, por lo que el municipio deberá considerar la apertura de CRRV en nuevos terrenos si desea aumentar la recuperación pública de residuos en el cantón.

### 4.1.3 Infraestructura

Como para toda actividad industrial, la infraestructura de los CRRV debe ser planificada y diseñada teniendo en cuenta la naturaleza de las actividades que se llevarán a cabo en el edificio, lo que incluye el diseño estructural, eléctrico y de fontanería (Campos, 2014). En un 53% de los casos estudiados, la infraestructura en que funcionan actualmente los CRRV no fue específicamente construida con ese fin, sino que corresponden a instalaciones en que anteriormente se desempeñaba otra clase de actividades, por lo cual sus características no están diseñadas para proveer una máxima eficiencia en la operación.

Respecto a lo recomendado en la literatura la mayor parte de las instalaciones cuentan con características adecuadas en su infraestructura perimetral y de parqueo, encontrándose las principales falencias en el diseño del área de trabajo. Las edificaciones en que operan los CRRV deben maximizar el espacio libre con el fin de proveer flexibilidad para el emplazamiento de los equipos y el diseño del flujo del proceso. Sin embargo, en un 53% de las edificaciones existen paredes internas que limitan el libre movimiento de residuos y operarios. Asimismo, un 67% de las instalaciones no cuentan con un muelle de carga para agilizar la operación de carga y descarga. En dos de los CRRV visitados el edificio posee una única entrada por la cual ingresan los residuos sin clasificar y salen los materiales clasificados, lo que provoca interferencia en el flujo del proceso (Figura 4.1).



Figura 4.1. Instalación sin malla perimetral y con una única entrada para residuos y materiales.

#### 4.1.4 Gestión de materia prima

##### *Tamaño de las instalaciones*

Lobo et al. (2016) utilizaron una clasificación de tamaño para los CRRV de Costa Rica basándose en la experiencia de una empresa recicladora respecto a la cantidad de materiales separados que venden las instalaciones. Usando esta categorización los casos estudiados calificarían según lo indicado en el Cuadro 4.2. La única instalación que califica como Grande A es el CRRV 13, que de acuerdo con su jefe de planta es el CRRV de propiedad municipal de mayor tamaño del país (A. Valerín, comunicación personal, junio 20, 2018).

**Cuadro 4.2. Categorización de los CRRV estudiados con base en la cantidad de materiales vendidos.**

<b>Categoría</b>	<b>Materiales vendidos (ton/mes)</b>	<b>Casos estudiados</b>
Pequeño	< 10	5
Mediano	10 - 30	5
Grande B	30 - 100	4
Grande A	> 100	1

En la presente investigación se intentó obtener información no sólo de la cantidad de materiales vendidos por las empresas sino también del total de residuos procesados en las instalaciones, información que aparece en el Cuadro 4.3. Como se discutirá más adelante, en los CRRV se pesan por lo general únicamente los materiales separados al momento de su envío a las empresas recicladoras, por lo cual la cantidad de residuos de entrada corresponde a una estimación basada en la experiencia del informante. El tema de los materiales que no logran ser recuperados se discutirá en una sección posterior.

**Cuadro 4.3. Cantidad de residuos procesados y materiales vendidos por los CRRV estudiados.**

<b>CRRV</b>	<b>Residuos procesados (ton/mes)</b>	<b>Materiales vendidos (ton/mes)</b>
01	40	35
02	19	17
03	16	5
04	10	8,5
05	18	14,4
06	-	40
07	19	3
08	10	7
09	120	90
10	100	80
11	6	5,5
12	-	25
13	121	107,7
14	30	25
15	23	13,3

### ***Proveedores de residuos***

En países en desarrollo la relación del sector formal del reciclaje, al cual pertenecen los CRRV de propiedad municipal, con el sector informal, va en algunas ocasiones desde la falta de reconocimiento hasta la abierta hostilidad (Aparcana, 2017). Se intentó conocer si los CRRV municipales aceptaban residuos provenientes de recicladores de base, encontrándose que en todos los casos nunca o muy pocas veces se establece relaciones con estos actores.

En todos los CRRV estudiados, los residuos que ingresan a las instalaciones provienen principalmente de la recolección municipal de residuos valorizables, con excepción del CRRV 11 y el CRRV 14, que funcionan únicamente bajo la modalidad de Punto Limpio, recibiendo solo residuos que ciudadanos particulares transportan a las instalaciones sin ánimo de lucro. En ninguno de los CRRV se paga por los materiales recibidos, sin embargo, cuatro de los casos estudiados participan del programa Ecolones, por lo que otorgan esta moneda virtual a cambio de los residuos que cumplan con los requisitos establecidos en el programa.

### *Descarga no autorizada de residuos*

La descarga no autorizada de residuos por parte de la población en la entrada de las instalaciones durante las noches o fines de semana es una situación común en los CRRV. La acumulación de estos residuos a la intemperie genera preocupaciones de índole ambiental como atracción de vectores y deterioro del paisaje (IRA, 2010). Todos los encargados de los CRRV visitados manifestaron haberse enfrentado en algún momento con esta situación.

### *Tipo de corriente de entrada*

En la ENSRVR (MS, 2016a) se pretende armonizar la forma en que las fuentes generadoras clasifican los residuos previo a su recolección, proponiendo la separación en bolsas con distintivos de color según material (Figura 4.2). Sin embargo, en un 93% de los CRRV estudiados los residuos nunca o casi nunca ingresan separados según lo propuesto en la ENSRVR, siendo lo normal que vengan en una sola bolsa con todos los materiales mezclados.



Figura 4.2. Categorías propuestas en la ENSRVR para la separación de residuos en la fuente. Adaptado de Tan Fácil Como (2017).

Se consultó a los encargados de seis CRRV sobre su opinión de la causa de que la mayoría de los usuarios de las rutas de recolección municipal no acatara la recomendación de la ENSRVR, obteniéndose como respuesta común, la indisposición del público a invertir

tiempo y espacio en sus hogares para separar los residuos en tantas categorías. En algunas ocasiones, sin embargo, los camiones de recolección municipal llevan a las instalaciones residuos que cumplen las recomendaciones de la ENSRVR. Esto ocurre en el caso del CRRV 13 cuando se recolectan residuos provenientes principalmente de algunos residenciales de alto nivel socioeconómico (A. Valerín, comunicación personal, junio 20, 2018).

En los cuatro CRRV afiliados al programa Ecolones, se reciben los residuos con un mayor grado de separación cuando ciudadanos particulares llevan sus residuos a las instalaciones con el propósito de canjearlos por la moneda virtual. De acuerdo con los requisitos de Ecolones (Figura 4.3) deben ser los usuarios quienes clasifiquen sus residuos en los recipientes dispuestos para ese fin en las instalaciones.



Figura 4.3. Requisitos para canjear residuos por ecolones. Tomado de Ecolones (2018).

#### 4.1.5 Tecnología disponible

Al referirse a la tecnología disponible en un CRRV, cabe diferenciar entre tecnología utilizada para automatizar la operación de clasificación y para el procesamiento adicional de los residuos, como puede ser la compactación y la quiebra de vidrio. La decisión de utilizar exclusivamente separación manual o incluir algunas operaciones mecánicas debería basarse en el volumen y el tipo de materiales a procesar. La adquisición de equipo representa una inversión importante que sin embargo podría ser rápidamente compensada mediante la reducción del costo operativo de las instalaciones (SAyDS, 2000).

En lo referente a la operación de separación, ninguno de los CRRV estudiados utiliza equipos tecnológicos que aprovechen la diferencia en las propiedades físicas de los distintos materiales para su extracción de los residuos de entrada, ésta en todos los casos se realiza de manera manual. Respecto a la superficie sobre la cual se realiza la clasificación de los residuos se encontró que en la mayoría esta operación se hace sobre mesas fijas (Figura 4.4), pero también se encontraron instalaciones en que se realiza la separación sobre el suelo y un caso, el CRRV 10, que cuenta con una banda transportadora (Cuadro 4.4).



Figura 4.4. Mesa de clasificación.

Cuadro 4.4. Forma de clasificar los materiales en los CRRV estudiados.

Forma de clasificar los materiales	Casos estudiados
Manual sobre el suelo	3
Manual sobre mesa	11
Manual sobre banda transportadora	1

De acuerdo con ADB (2013) la clasificación manual sobre una superficie estática, suelo o mesa, es adecuada para procesar cantidades de residuos inferiores a las 2 toneladas por día. Considerando la cantidad de residuos que ingresa en promedio mensualmente a las instalaciones (Cuadro 4.3) únicamente se recomienda la utilización de una banda transportadora de una sola línea para los tres CRRV que procesan más de 100 ton/mes. El CRRV 10 ya cuenta con este equipo que de acuerdo con ADB (2013) permite procesar hasta 10 ton por día de residuos. Por lo tanto, la tecnología para clasificación con que cuentan los CRRV es adecuada para la cantidad de materiales procesados en un 87% de los casos. En relación con el procesamiento adicional de los residuos, la mayoría de los CRRV estudiados poseen, favorablemente a lo recomendado en la literatura, equipos para compactar los residuos y quebrar el vidrio (Cuadro 4.5).

**Cuadro 4.5. Principales equipos disponibles para el procesamiento de los materiales separados.**

<b>Equipo disponible</b>	<b>Casos estudiados</b>
Compactadora	10
Quebradora de vidrio	9

Sin embargo, un tercio de los casos estudiados no poseen compactadora, por lo cual no puede acceder a los beneficios de esa operación, lo cual incluye un mejor precio por los materiales y un menor requerimiento de espacio tanto para almacenamiento como transporte (IRA, 2010; L. Meléndez, comunicación personal, 25 de agosto, 2017).

#### **4.1.6 Gestión del recurso humano**

##### ***Cantidad y tipo de personal***

Los CRRV que dependen en gran medida de las actividades de clasificación manual son instalaciones intensivas en mano de obra (UNEP, 2017). Los CRRV municipales en Costa Rica son operados en algunos casos por personal contratado directamente por la municipalidad y en otros casos por organizaciones comunales o empresas privadas con las que se establece un convenio ya sea formal o informal. En el Cuadro 4.6 se muestra el tipo



de personal operativo y la cantidad de trabajadores a tiempo completo con que cuentan las instalaciones. En algunas ocasiones los CRRV emplean personal temporal o voluntario, sin embargo, es difícil prever la disponibilidad de este personal (G. Villalobos; comunicación personal, mayo 22, 2018; W. Brenes, comunicación personal, junio 22, 2018).

**Cuadro 4.6. Tipo y cantidad de personal permanente en los CRRV estudiados.**

<b>CRRV</b>	<b>Tipo de personal operativo</b>	<b>Operarios a tiempo completo</b>
01	Organización comunal	6
02	Municipalidad	2
03	Empresa privada	5
04	Organización comunal	-
05	Organización comunal	4
06	Municipalidad	14
07	Municipalidad	1
08	Organización comunal	2
09	Municipalidad	18
10	Municipalidad	35
	Organización comunal	
11	Municipalidad	4
12	Empresa privada	2
13	Municipalidad	21
14	Municipalidad	6
15	Empresa privada	6

### ***Productividad del personal***

De acuerdo con Campos (2014) un trabajador de una instalación en la que se emplea separación manual sobre una mesa alcanza una productividad promedio de 70 kg de material separado por día. Durante la investigación se detectó la percepción generalizada, entre los administradores de los CRRV municipales, de que los empleados contratados por la municipalidad son menos productivos que los privados, pues su remuneración no depende de la cantidad de materiales procesados. La ausencia de registros de productividad y métodos cuantitativos para evaluar el desempeño de los operarios impidió corroborar la veracidad de esta afirmación. Sin embargo, fueron observadas durante las visitas de campo, una serie de errores en la gestión del personal, incluyendo falta de capacitación e inadecuadas condiciones de trabajo, que de acuerdo con la literatura repercuten en la productividad del personal y cuyo

control es responsabilidad de la administración del CRRV (Jones 1992; USEPA, 1995; IRA, 2010).

### ***Jefe de planta***

De acuerdo con Meléndez (comunicación personal, agosto 25, 2017) la presencia de un jefe de planta permite supervisar a los operarios y atender consultas de compradores actuales y potenciales que se desplacen a las instalaciones. Un 93% de los CRRV estudiados indicaron contar siempre o casi siempre con un jefe de planta. En cuatro de los cinco CRRV visitados se encontraba presente el jefe de planta, el cual fue observado desempeñando las siguientes tareas:

- Firma de constancias de recepción de residuos por gestor autorizado a instituciones que llevaban residuos al CRRV y solicitaban este documento.
- Atención de estudiantes y voluntarios.
- Resolución de dudas de los operarios en cuanto a los procedimientos de trabajo y forma de proceder ante materiales que les eran poco familiares.
- Supervisión de la calidad del producto.
- Vigilancia de la salud ocupacional de los operarios, evitando que realizaran actividades riesgosas como levantar pesos muy elevados.

### ***Personal con limitaciones físicas y condiciones adversas de salud***

Según Gómez (comunicación personal, setiembre 14, 2017) existe en algunas municipalidades la tendencia a utilizar el CRRV como una forma de ocupar personal que, debido a limitaciones físicas o condiciones adversas de salud, se considera no puede desempeñarse en otras áreas como recolección de residuos o mantenimiento de vías. Esta tendencia fue confirmada en la investigación, donde en un 67% de los CRRV estudiados se utilizan algunas veces este tipo de personal, incluyendo un 33% en que se usa casi siempre.

De acuerdo el jefe de planta de uno de los CRRV visitados, la asignación de este personal proviene de la creencia administrativa de que las operaciones en el CRRV no requieren de esfuerzo físico para desempeñarse eficientemente. Sin embargo, a parte de las labores de clasificación, que exigen permanecer en pie durante periodos prolongados de tiempo, se requiere de personal para labores de carga, descarga y estiba de pacas de residuos con un peso considerable (A. Valerín, comunicación personal, junio 20, 2018).

El personal con limitaciones físicas puede ser asignado a labores de registro e inspección de calidad, requiriéndose contratar también personal en condiciones aptas para tareas de mayor exigencia, esto con el fin de evitar situaciones de riesgo y contribuir a la ágil operación de las instalaciones.

### ***Capacitación***

La capacitación del personal constituye un factor clave en la eficiencia de la operación del CRRV (IRA, 2010). Un ejemplo de esto ocurre cuando los operarios no están familiarizados con cierto tipo de material, pudiendo clasificarlo de manera incorrecta y contaminar toda una paca de producto (Jones, 1992). En un 60% de los CRRV estudiados se da capacitación siempre o casi siempre al personal que inicia labores, pero este porcentaje desciende al 20% cuando se habla de un programa de capacitación permanente para trabajadores regulares.

En dos de los casos visitados la capacitación de los nuevos operarios es realizada por el INA mediante el curso *Recuperador o Recuperadora de desechos sólidos*. Los contenidos de este curso (Anexo 1) incluyen la relación de las actividades desempeñadas en el CRRV con la contaminación de agua, aire y suelo. La duración del curso es de 98 horas, lo que es muy extenso para que algunos CRRV asuman la capacitación de sus operarios bajo esta modalidad.

En el CRRV 14 no se contempla por parte de la administración ninguna capacitación a los nuevos empleados, sino que estos dependen de observar a los trabajadores

experimentados mientras trabajan, por lo cual su productividad es limitada durante los primeros días y son propensos a cometer errores.

### ***Ergonomía de las estaciones de clasificación***

No se le puede exigir a un trabajador que rinda a su máximo potencial si las condiciones de trabajo no son las adecuadas. Las estaciones de clasificación, mesas y recipientes deben tener dimensiones y estar ubicados de tal forma que permitan al trabajador desempeñar su labor cómodamente. En un 60% de los CRRV estudiados el diseño de las estaciones de clasificación resultaban inadecuadas según lo recomendado en la literatura, lo que redundaba en un mayor desgaste físico y menor productividad de los operarios (Jones 1992; USEPA, 1995).

En varias de las instalaciones visitadas se observó como las bolsas utilizadas para clasificar los residuos tenían la apertura plegada (Figura 4.5), además de estar a un nivel muy bajo, lo que provocaba que el operario debiera doblar la espalda y extender la apertura con sus manos cada vez que fuera a introducir un residuo.



**Figura 4.5.** Bolsa de clasificación con la apertura plegada.

#### **4.1.7 Procedimientos de trabajo**

##### ***Documentación***

Documentar un procedimiento consiste en llevar un registro escrito de los pasos necesarios para su correcta ejecución, estableciendo el personal responsable y los recursos que demanda. La documentación sirve como una guía de referencia para el personal y la administración. El proceso de documentación en sí contribuye a aumentar el conocimiento de la forma en que trabaja la organización, identificar las áreas de la operación susceptibles a mejora y enfocar las personas, recursos y tiempo al logro de objetivos y metas (Alzate, 2011). En un 47% de los CRRV analizados no se tienen procedimientos por escrito, mientras que en un 20% poseen pocos establecidos. En estos casos la forma de trabajo depende del personal disponible y su experiencia en la actividad a ejecutar. En uno de los CRRV visitados se indicó sobre un proceso de optimización de los procedimientos de trabajo llevado a cabo en el año 2011, sin embargo, no se tiene evidencia de en qué consistió dicho proceso debido al cambio de personal.

En procura de mejorar el desempeño de la operación, por ejemplo, mediante la implementación de las buenas prácticas, se debe iniciar por entender y registrar la forma actual de trabajo. La falta de documentación es un error importante en cualquier organización, especialmente en el contexto de los CRRV municipales donde la estabilidad del personal está sujeto a la voluntad de una administración que puede cambiar cada 4 años.

##### ***Registro y pesaje de los residuos de entrada***

El pesaje de los residuos al momento de su recepción permite llevar registro de los hábitos de generación de los proveedores, así como calcular el porcentaje comercializado de residuos respecto al total recibido (ADB, 2013). No todos los residuos que ingresan a un centro de recuperación pueden ser efectivamente recuperados y comercializados, cierto porcentaje de la corriente de entrada debe desecharse al relleno sanitario u otro sitio de disposición ya sea porque se trata de materiales para los cuales no se tiene comprador, materiales sucios o contaminados con materia orgánica, o porque son fracciones pequeñas de

materiales valiosos que requerirían una inversión muy grande para su recuperación, como pueden ser trozos pequeños de vidrio o papel.

Llevar registro del porcentaje de residuos que debe desecharse permite evaluar la efectividad del proceso de recuperación en el CRRV y tomar medidas para mejorar todo el proceso de gestión, desde la educación a los suplidores de materiales hasta cambios en el sistema de recolección, todo con el fin de recuperar el mayor porcentaje posible de los residuos y de esta manera disminuir el costo de procesar material por el cual no se obtiene ninguna remuneración (Aliarse, 2017).

En los CRRV analizados se pesa por lo general únicamente los materiales clasificados al momento de su envío a las empresas recicladoras, no pesándose los residuos que ingresan a las instalaciones ni tampoco los residuos que al final del proceso deben enviarse al sitio de disposición final. Únicamente el encargado del CRRV 08 manifestó que en su instalación se registra siempre el origen, cantidad y descripción de los residuos al momento de su recepción, en el resto de los 14 casos de estudio nunca o muy pocas veces ocurre este registro.

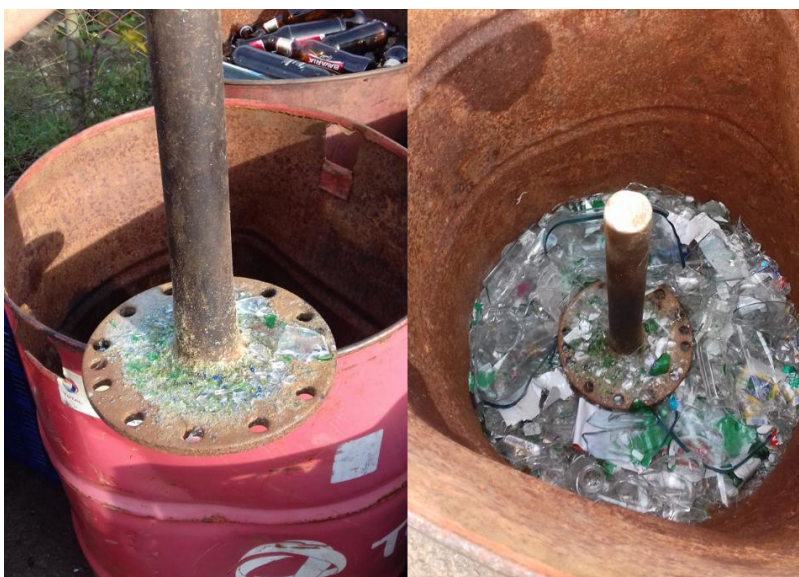
### ***Verificación de la calidad de la carga***

Verificar la carga que ingresa permite detectar residuos con excesiva contaminación antes de su aceptación en las instalaciones y proveer retroalimentación a las fuentes generadoras (IRA, 2010). Los materiales no aceptados de previo que terminan ingresando a las instalaciones ocupan espacio de almacenamiento y acarrear costos de manipulación y disposición final que no se ven compensados por ningún ingreso económico (WRAP, 2006).

Solamente dos CRRV manifestaron que casi siempre o siempre, verifican que los residuos de entrada cumplan con los requisitos indicados para su aceptación, en el resto de los 13 casos de estudio nunca o muy pocas veces tiene lugar esta verificación. Se indagó en las razones de la ausencia de este registro en los CRRV visitados, obteniéndose como respuesta la falta de personal como un factor limitante. (G. Villalobos; comunicación personal, mayo 22, 2018; W. Brenes, comunicación personal, junio 22, 2018).

### ***Procesamiento de materiales separados***

La compactación de los materiales separados permite optimizar el espacio de almacenamiento y acceder a un mejor precio en el mercado (IRA, 2010). En este estudio se determinó que el 67% de los CRRV encuestados compactan los residuos al menos en algunas ocasiones. El procesamiento de los materiales puede ser también un requerimiento obligatorio por las empresas recicladoras. La empresa VICAL exige que el vidrio que se le entrega venga quebrado si se quiere recibir remuneración a cambio (Aliarse, 2016). Durante la presente investigación se determinó que el 67% de los CRRV quiebran siempre el vidrio, ya sea mediante una máquina quebradora o de manera manual. El 27% de los encuestados indican que realizan la quiebra manualmente (Figura 4.6). En uno de los CRRV visitados se recibe y desmantela chatarra usando un metabo.



**Figura 4.6. Herramienta para quebrar vidrio manualmente en el CRRV 14.**

Otro aspecto para considerar de las actividades de procesamiento adicional es que pueden generar situaciones de riesgo laboral para los operarios y un impacto ambiental en las instalaciones y sus inmediaciones por concepto de ruido, emisión de partículas y energía consumida por la maquinaria (IRA, 2010). En uno de los CRRV visitados se observó a un operario quebrar vidrio manualmente sin utilizar lentes de protección. En la instalación que se desmantela chatarra el ruido del metabo alcanzaba a escucharse en la vía pública.

### ***Almacenamiento de residuos al aire libre***

Resulta siempre preferible almacenar el material procesado bajo techo, con el fin de evitar se dañe por efecto de la humedad, lo que reduciría su calidad, y que sea dispersado por el viento, casando contaminación (ARC, 2012). Sin embargo, en ocasiones los CRRV pueden verse en la necesidad de almacenar material al aire libre debido a la limitada capacidad de almacenamiento de algunas instalaciones. En este caso se deben tomar consideraciones especiales, como dar prioridad a los materiales con bajo tiempo de rotación y cubrir los residuos con lonas. En un CRRV visitado se observaron residuos almacenados al aire libre sin ninguna protección, afectando además la estética de las instalaciones (Figura 4.7).



**Figura 4.7. Inadecuadas condiciones de almacenamiento al aire libre.**

### ***Formalidad de los contratos***

De acuerdo con Lobo et al., (2016) las empresas recicladoras en el país no establecen contratos formales con sus proveedores, sino que basan la relación comercial en la confianza y la flexibilidad para negociar precios. Esto fue corroborado en el presente estudio ya que en ninguno de los CRRV analizados se establece un contrato formal con las empresas a las cuales se venden los materiales. Aunque esta situación brinda flexibilidad a los administradores de los centros de recuperación para adaptarse a cambios en las condiciones de mercado, también puede suceder que una empresa incumpla las condiciones del pacto



verbal y comprometa la operación del CRRV. De acuerdo con la encargada del CRRV 11 (G. Villalobos, comunicación personal, mayo 22, 2018) el material solía entregarse a un centro de recuperación privado, en una ocasión esa empresa dejó súbitamente de aceptar envíos debido a trabajos de reparación en el acceso a sus instalaciones, esto provocó problemas de acumulación de material en el CRRV municipal.

### ***Control de calidad***

Con el fin de generar confianza en el mercado los CRRV deben asegurar la calidad de los materiales que clasifican, para esto es necesario contar con algún mecanismo de control de calidad dentro de la organización, como puede ser la inspección visual al final de cada línea de clasificación o el muestreo al azar de los materiales empacados (WRAP, 2006). En un 60% de los CRRV estudiados nunca o muy pocas veces se verifica la calidad de los materiales separados que se envía a las empresas recicladoras. La falta de verificación de la calidad de los envíos puede llegar a provocar un perjuicio importante para los CRRV. De acuerdo con el administrador de un CRRV entrevistado en una ocasión al llegar a la empresa recicladora se le ofreció pagar una paca de papel blanco con una tira de color como si toda la paca fuera de color, para evitar entregar la paca a un menor precio fue necesario llevársela y sacar la tira (Meléndez, comunicación personal, agosto 25, 2017).

### ***Gestión de residuos no recuperables***

La mayoría de los CRRV estudiados reportaron un porcentaje de residuos no recuperables de entre el 10% y el 25% del total que ingresa a las instalaciones (Cuadro 4.7). El CRRV 06 y el 12 reportaron únicamente la cantidad de materiales vendidos, sin realizar estimación de la cantidad de residuos procesados ni de los no recuperables. Los residuos no recuperables se envían a sitios de disposición final en todos los casos. De acuerdo con los encargados de los CRRV visitados los residuos no recuperables corresponden a dos tipos. Por un lado, a materiales cuyas fuentes generadoras colocan en recipientes de reciclables y el CRRV no procesa y por otro lado a materiales reciclables que no pudieron ser separados en las instalaciones, ya sea por estar sucios o por que recuperarlos resultaría muy costoso.

**Cuadro 4.7. Cantidad de residuos no recuperables en los CRRV estudiados.**

<b>CRRV</b>	<b>Residuos procesados (ton/mes)</b>	<b>Residuos no recuperables (ton/mes)</b>	<b>Residuos no recuperables (%)</b>
01	40	5,2	13
02	19	2	11
03	16	4	25
04	10	1,5	15
05	18	3,6	20
07	19	3,6	19
08	10	4,3	43
09	120	30	25
10	100	20	20
11	6	0,6	10
13	121	13	11
14	30	5	17
15	23	10	43

La tasa de valorización de residuos a nivel cantonal y nacional en Costa Rica es calculada con base en la cantidad de residuos recolectados por las municipalidades y entregados a los CRRV, sin tomar en consideración el porcentaje de residuos que no logra ser recuperado en estas instalaciones (E. Androvetto, comunicación personal, mayo 17, 2018). En la metodología actual se contabilizan como valorizados residuos que terminan de todas maneras en un sitio de disposición final. A diferencia de esto, en la Unión Europea los residuos se consideran valorizados al momento de su envío a las empresas recicladoras y es solamente en ese momento en que pueden sumar para el cálculo de la tasa de valorización (UE, 2011).

#### **4.2 BUENAS PRÁCTICAS CORRESPONDIENTES A LOS FACTORES TÉCNICOS Y AMBIENTALES IDENTIFICADOS.**

##### **4.2.1 Localización y características del terreno donde se ubica el CRRV**

En general el terreno en que se encuentran los CRRV estudiados cumple con lo recomendado en la literatura en cuanto a ubicación, topografía, geología y accesibilidad, presentando deficiencias en cuanto a tamaño. Una práctica adicional recopilada durante el trabajo de campo es la de ubicar el CRRV en un terreno cercano a otras instalaciones municipales, con fin de facilitar el establecimiento de alianzas. En el Cuadro 4.8 aparecen las prácticas recopiladas en cuanto a la escogencia del terreno donde ubicar las instalaciones.

**Cuadro 4.8. Buenas prácticas para la escogencia del terreno donde ubicar las instalaciones.**

Característica	Buena práctica	Observaciones
Ubicación	<p>Escoger un terreno cercano a<sup>1,2</sup>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Los centros de población que generan los residuos a procesar.</li> <li>- Las empresas que compran los materiales separados.</li> <li>- El sitio de disposición final.</li> </ul>	Se reduce el tiempo invertido en el transporte, el consumo de combustible, las emisiones generadas y el desgaste en los vehículos.
	Escoger un terreno cercano a otros CRRV de propiedad municipal <sup>3,4</sup> .	Se facilita la creación de alianzas para vender mayores cantidades de residuos y con ello acceder a un mejor precio por tonelada además de reducir el tiempo en que los CRRV individuales deben acumular el material.
Tamaño	Escoger un terreno con área suficiente para albergar la infraestructura física y espacio para el movimiento de vehículos <sup>1</sup> .	Un sitio demasiado pequeño acarreará dificultades para el movimiento seguro y ordenado de vehículos y personas.
	Escoger un terreno con área suficiente para dejar una zona de amortiguamiento entre las instalaciones del CRRV y las propiedades vecinas <sup>1,5</sup> .	La acumulación de residuos cerca de las propiedades colindantes puede generar el recelo de los vecinos y la oposición al proyecto.
	Escoger un terreno con espacio disponible para una eventual expansión de las instalaciones proyectadas <sup>1</sup> .	De esta manera se puede aprovechar la inversión realizada durante un periodo más largo de tiempo.
Topografía y geología	Escoger un terreno con relieve plano o de suave pendiente, sin riesgo de deslizamientos o hundimientos <sup>5,6</sup> .	Reduce el costo de excavación, acondicionamiento del terreno y el riesgo de taludes inestables.
Accesibilidad	Escoger un terreno con múltiples vías de acceso en buen estado y sin restricciones para el tránsito de camiones <sup>1,5</sup> .	El buen estado de los caminos disminuye el desgaste en los vehículos. Otro beneficio es la facilidad de acceso para vehículos de emergencia en caso de presentarse una contingencia.

Fuente: <sup>1</sup>(IRA, 2010), <sup>2</sup>(Dubanowitz, 2000), <sup>3</sup>(Aliarse, 2017), <sup>4</sup>(L.D. Jiménez, comunicación personal, junio 8, 2018), <sup>5</sup>(ADB, 2013), <sup>6</sup>(Grandela et al., 2007).

#### 4.2.2 Infraestructura

Existen múltiples oportunidades de mejora en las condiciones actuales de la infraestructura de los CRRV, comenzando con la conveniencia a nivel operativo de establecer las instalaciones en edificaciones específicamente construidas para ese fin. Una de las instalaciones visitadas, construida para funcionar como CRRV, posee una puerta por la cual entran los residuos y otra por la cual salen los materiales separados, este diseño en U permite que el proceso fluya sin interferencia (Figura 4.8).



**Figura 4.8. Instalación con diseño en U.**

Algunas de las recomendaciones encontradas en la literatura fueron validadas y ampliadas durante el trabajo de campo. El CRRV 10 a pesar de incorporar un muelle de carga en su diseño, según lo recomendado, no pudo utilizarlo en un principio pues su altura superaba la de las cajas de los camiones con que se contaba para efectuar la recolección, por lo cual se agregó la práctica adicional de considerar este factor a la hora de diseñar el muelle. En el Cuadro 4.9 aparecen las prácticas recopiladas en cuanto al diseño de la infraestructura del CRRV.

**Cuadro 4.9. Buenas prácticas para el diseño de la infraestructura del CRRV.**

<b>Zona</b>	<b>Buena práctica</b>
Cerca perimetral	Colocar una cerca perimetral para controlar el acceso de personas y vehículos a las instalaciones <sup>1,2</sup> . La cerca debe ser opaca para minimizar el impacto visual desde el exterior y de altura suficiente para evitar la dispersión de residuos por el viento <sup>3</sup> .
Área de amortiguamiento	Sembrar árboles y arbustos alrededor en el área de amortiguamiento ayuda a mejorar la estética y a disminuir el ruido <sup>4</sup> .
Parqueo de vehículos particulares	Separar la zona de parqueo de vehículos particulares de la zona de carga y descarga de camiones <sup>2</sup> .
Parqueo y carga de camiones	Debe ser lo suficientemente amplia para que un camión pueda dar la vuelta, además debe ser de una superficie sólida como piedra o concreto <sup>5</sup> . La construcción de un muelle facilita la carga y descarga de los camiones. La altura del muelle debe ser adecuada para los vehículos disponibles <sup>1,6</sup> .

#### Continuación del Cuadro 4.9.

Zona	Buena práctica
Nave principal	Optar por un diseño tipo almacén. La mínima cantidad de columnas provee flexibilidad para la colocación de los equipos y el diseño del flujo del proceso <sup>4</sup> .
	Orientar la nave principal con el largo de cara al sol e incorporando tragaluces en el diseño con el fin de aprovechar la iluminación natural <sup>1</sup> .
	El dimensionamiento de las instalaciones debe hacerse considerando el periodo de mayor generación de residuos a lo largo del año <sup>1,7</sup> .
Área de almacenamiento	Se debe proveer de espacio de almacenamiento adicional para hacer frente a contingencias, como daños en equipos o divergencias con empresas recicladoras <sup>1,8</sup> .
	Debe encontrarse preferiblemente techada, con el fin de evitar que los residuos se dañen por la humedad o sean dispersados por el viento causando contaminación <sup>9</sup> .
	Debe pavimentarse o recubrirse por otra superficie impermeable de manera que se minimice el riesgo de que los residuos sean contaminados por barro <sup>1,9</sup> .
	La superficie debe tener una ligera inclinación para facilitar el drenaje en caso de que se laven las instalaciones <sup>1</sup> .

Fuente: <sup>1</sup>(IRA, 2010), <sup>2</sup>(Grandela et al., 2007), <sup>3</sup>(ARC, 2012),<sup>4</sup>(Dubanowitz, 2000), <sup>5</sup>(Granados, 2014), <sup>6</sup>(M. López, comunicación personal, octubre 10, 2017), <sup>7</sup>(D. Jiménez, comunicación personal, junio 8, 2018), <sup>8</sup>(G. Villalobos; comunicación personal, mayo 22, 2018), <sup>9</sup>(ARC, 2012).

#### 4.2.3 Gestión de materia prima

El enfoque de la investigación realizada fue el proceso que se desarrolla dentro de las instalaciones de los CRRV, no se tomó en un inicio la recolección de los residuos, esto para dar recomendaciones cuya aplicación dependiera enteramente de la administración del CRRV, en previsión de que además de residuos recolectados por la misma municipalidad se recibieran también otros de recolectores privados o recuperados informales sobre cuyo procedimiento de recolección la municipalidad no tuviera un control directo. Sin embargo, los resultados muestran que los CRRV de propiedad municipal reciben residuos fundamentalmente de la recolección municipal, y que de hecho es común que el personal que trabaja en el CRRV se desempeñe también en labores de recolección. Durante el trabajo de campo se constató que los procedimientos efectuados durante la recolección son de suma importancia para mejorar la calidad de los materiales que son llevados a los CRRV, por lo se decidió incorporar recomendaciones aplicables durante la ruta de recolección. En el Cuadro 4.10 aparecen prácticas para mejorar la calidad de los residuos que ingresan al CRRV.

**Cuadro 4.10. Buenas prácticas para mejorar la calidad de los residuos que ingresan al CRRV.**

Proceso	Buena práctica	Observaciones
Recolección en las aceras	Implementar un proceso de preselección en las aceras <sup>1</sup> .	Palpar las bolsas permite identificar y transportar al CRRV solo los residuos que corresponden a la ruta de recolección selectiva, las bolsas de reciclables deberían ser livianas y sin partes blandas.
	Colocar a las bolsas que no se recogen una etiqueta explicando el motivo de que no hayan sido recolectadas <sup>2</sup> .	De esta manera el usuario recibe información de primera mano para mejorar sus hábitos de separación.
Recepción en las instalaciones	Colocar cámaras de seguridad en la entrada de las instalaciones <sup>3</sup> .	Colocar cámaras desmotiva la descarga no autorizada de residuos durante las noches y fines de semana.
	Designar personal para asistir a los usuarios que se desplazan a dejar sus residuos a las instalaciones <sup>4</sup> .	El personal puede monitorear que los residuos cumplan con las condiciones establecidas para su recepción y educar a los usuarios en este sentido.
	Afiliar el CRRV al programa Ecolones <sup>3</sup> .	Brindar una retribución y requisitos establecidos a nivel nacional empodera a los CRRV para exigir materiales con buenas condiciones de limpieza y separación.

Fuente: <sup>1</sup>(Meléndez, comunicación personal, agosto 25, 2017), <sup>2</sup>(E. Salazar, comunicación personal, julio 11, 2018), <sup>3</sup>(W. Brenes, comunicación personal, junio 22, 2018), <sup>4</sup>(IRA, 2010).

#### 4.2.4 Adquisición de equipo

La tecnología actual con que cuenta las instalaciones visitadas es en general apropiada para procesar la cantidad de residuos que reciben, sin embargo, la adquisición de compactadoras por parte de las que no cuentan con una y de básculas para camiones en la mayoría de los casos podría contribuir a mejorar el desempeño operativo. La adquisición de una báscula para camiones suma un costo considerable a la inversión en equipamiento del CRRV, sin embargo, resulta una inversión valiosa para agilizar el proceso de pesaje de los residuos de entrada y los materiales clasificados (IRA, 2010). El CRRV 08 es el único de los casos estudiados que cuenta con una báscula para camiones y es a su vez la única instalación en que siempre se registra la cantidad de residuos al momento de su recepción. En el Cuadro 4.11 aparecen las prácticas recopiladas en cuanto a la adquisición de equipo.

**Cuadro 4.11 Buenas prácticas para la adquisición de equipo.**

Proceso	Buena práctica	Observaciones
General	Adquirir equipo sobredimensionado en relación con la cantidad de residuos que se espera recibir al iniciar operaciones <sup>1</sup> .	Esto en previsión de cambios en mercado y para tener flexibilidad de acomodar nuevos proveedores.
	Adquirir equipo con una alta eficiencia energética <sup>1</sup> .	El gasto puede resultar mayor, sin embargo, al largo plazo la reducción en el costo de operación debería compensar la inversión.
Pesaje de residuos y materiales separados	Adquirir una báscula para camiones <sup>1,2</sup> .	Resulta una inversión valiosa para agilizar el proceso de pesaje de los residuos de entrada y los materiales clasificados.
Procesamiento de materiales	Adquirir una compactadora para aumentar la densidad del material <sup>1,3</sup> .	Los materiales compactados presentan una serie de beneficios: - Mejor precio en el mercado. - Menor requerimiento de espacio. - Mayor peso por viaje a las empresas.
	Adquirir una quebradora de vidrio <sup>4</sup> .	Quebrar el vidrio es un requisito para su aceptación por parte del grupo VICAL. La quiebra manual del vidrio es una actividad más lenta y con más riesgo para los operarios.
Transporte interno	Adquirir perras hidráulicas <sup>5</sup> .	Contar con este equipo permite reducir el tiempo invertido movilizandolos materiales y el riesgo de lesiones en los operarios.

Fuente: <sup>1</sup>(IRA, 2010), <sup>2</sup>(E. Salazar, comunicación personal, julio 11, 2018), <sup>3</sup>(Meléndez, comunicación personal, agosto de 2017), <sup>4</sup>(Aliarse, 2016), <sup>5</sup>(A. Bonilla, junio 19, 2018).

#### 4.2.5 Gestión del recurso humano

Los factores relacionados con la gestión del recurso humano en los CRRV estudiados, incluyendo la selección del personal y las condiciones de trabajo, son las que más se apartan de las recomendaciones mencionadas en la literatura. En la mayoría de las instalaciones, existen condiciones ergonómicas inadecuadas en las estaciones de clasificación y deficiencias en el proceso de capacitación del personal. Sin embargo, fue identificada también una práctica positiva no contemplada con anterioridad para incrementar la productividad del personal. En el CRRV09 existe la práctica de establecer metas de producción. Las metas son establecidas mensualmente en términos económicos por la administración y la jefe de planta se encarga de traducirlas a los operarios en términos de toneladas procesadas. Durante el transcurso del mes se evalúa el cumplimiento de la meta y se comunica el grado de avance a los operarios.

A raíz de esta práctica identificada en el CRRV 09 se indagó en la literatura y se encontró que el establecimiento de metas, aún en ausencia de incentivos financieros, influye en el comportamiento humano y lleva a cambios en el desempeño (Asmus et al, 2015). En el Cuadro 4.12 aparecen las prácticas recopiladas en cuanto a la gestión del recurso humano.

**Cuadro 4.12. Buenas prácticas para la gestión del recurso humano.**

Factor	Buena práctica	Observaciones
Selección de personal	Designar de un jefe de planta a tiempo completo <sup>1</sup>	Un jefe de planta puede desempeñar las siguientes funciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Supervisar la productividad</li> <li>- Velar por la salud ocupacional</li> <li>- Capacitar al nuevo personal</li> <li>- Resolver dudas de los operarios</li> <li>- Inspeccionar la calidad del producto</li> <li>- Registrar los ingresos y salidas de material</li> <li>- Verificar que los gestores cumplan con los requisitos de ley</li> <li>- Orientar a voluntarios y visitantes.</li> </ul>
Selección de personal	Establecer claramente los requerimientos del puesto a la hora de designar personal <sup>2</sup>	Existe la creencia de que las operaciones en el CRRV no requieren de esfuerzo físico para desempeñarse eficientemente.
	Asignar el personal con limitaciones físicas a labores de registro e inspección de calidad <sup>2</sup>	A parte de las labores de clasificación, que exigen permanecer de pies durante periodos prolongados de tiempo, se requiere de personal para labores de carga, descarga y estiba de pacas de residuos con un peso considerable.
Capacitación	Establecer un programa de entrenamiento <sup>3</sup>	La adecuada capacitación permite aumentar la productividad y reducir los errores al clasificar material.
	Incluir entrenamiento práctico en las sesiones de capacitación <sup>3</sup>	La capacitación meramente teórica no es suficiente para preparar a los operarios.
	Incluir al menos siguientes contenidos en el programa de capacitación <sup>3,4</sup> : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potenciales impactos ambientales de las operaciones efectuadas.</li> <li>- Almacenamiento y etiquetado de residuos peligrosos.</li> <li>- Funcionamiento de las distintas máquinas utilizadas.</li> <li>- Correcta utilización del equipo de protección personal.</li> <li>- Requerimientos exigidos por los compradores.</li> </ul>	Con el propósito de mitigar el impacto de posibles accidentes y disminuir el riesgo de lesiones en el trabajo.
	Control del desempeño	Establecer metas de producción <sup>5</sup> .

Fuente: <sup>1</sup>(Campos, 2014), <sup>2</sup>(A. Valerín, comunicación personal, junio 20, 2018), <sup>3</sup>(Jones, 1992), <sup>4</sup>(IRA, 2010), <sup>5</sup>(A. Bonilla, junio 19, 2018).



Otro aspecto en el que resaltó el CRRV 9 fue en las características de los recipientes utilizados para la clasificación. En esta instalación fue identificada la aplicación de una práctica para solventar el problema visto en otros CRRV sobre la apertura plegada de las bolsas de clasificación, al utilizarse un soporte que la mantiene expandida de tal manera que el operario puede trabajar sin necesidad de invertir tiempo y esfuerzo estirando la apertura cada vez que vaya a depositar un residuo, además cada recipiente cuenta con una carretilla para facilitar su traslado una vez lleno (Figura 4.9). En el Cuadro 4.13 aparecen las prácticas recopiladas en cuanto al diseño de las estaciones de clasificación.



Figura 4.9. Recipiente para clasificación con características inadecuadas (izquierda) y adecuadas (derecha).

Cuadro 4.13. Buenas prácticas para el diseño de las estaciones de clasificación.

Elemento	Buena práctica	Observaciones
Iluminación y ventilación	Colocar las estaciones de clasificación en áreas con adecuada iluminación y ventilación natural.	Estas condiciones contribuyen a la productividad y salud de los empleados.
Mesa de clasificación	Definir el alto y ancho pensando en la altura de las personas que la utilizarán. Dotar a los trabajadores que así lo requieran de pequeñas plataformas sobre las cuales elevarse.	Una mesa demasiado alta o ancha provocará que los trabajadores deban estirarse para alcanzar los residuos, una mesa muy baja exigirá a los operarios encorvar la espalda.
Suelo	Proveer de alfombras antifatiga.	Disminuyen la incomodidad de permanecer de pie en un solo lugar durante largos periodos de tiempo. Deben tener bordes redondeados para reducir el riesgo de tropiezo.

#### Continuación del Cuadro 4.13.

Elemento	Buena práctica	Observaciones
Recipientes	El tamaño y colocación de los recipientes debe permitir introducir los residuos con facilidad.	Un recipiente muy pequeño puede provocar que el operario doble la espalda cada vez que vaya a introducir los residuos
	Utilizar un aro para mantener abierta la apertura de las bolsas de clasificación	El operario debe de poder introducir los residuos sin necesidad de extender la apertura de la bolsa en cada ocasión.

Adaptado de (IRA, 2010).

#### 4.2.6 Procedimientos de trabajo

En general existen múltiples oportunidades de mejora en relación con la documentación de los procedimientos, el registro de los residuos de entrada y la verificación de la calidad de la carga. Respecto a los procedimientos de almacenamiento de materiales separados cerca de un 70% de los CRRV cumplen con lo recomendado en literatura. En la Figura 4.10 se muestra un adecuado almacenamiento de residuos al aire libre. En el Cuadro 4.14 aparecen las prácticas recopiladas con relación a los procedimientos de trabajo efectuados en las instalaciones.



Figura 4.10. Adecuadas condiciones de almacenamiento al aire libre.

**Cuadro 4.14. Buenas prácticas para los procedimientos de trabajo del CRRV.**

<b>Procedimiento</b>	<b>Buena práctica</b>	<b>Observaciones</b>
Documentación	Documentar los procedimientos de trabajo <sup>1</sup> .	Documentar facilita identificar las áreas susceptibles a mejora y enfocar las personas y recursos al logro de metas.
	Mantener la documentación legible y accesible <sup>1</sup> .	Los documentos deben estar identificados y ser legibles, así como estar disponibles para cuando se les requiera consultar.
	Revisada y actualizar periódicamente la documentación <sup>1</sup> .	Se debe evitar documentos obsoletos que puedan inducir a confusiones.
Recepción de residuos	Pesar los residuos al momento de su recepción en las instalaciones <sup>2,3</sup> .	Esto permite llevar registro de los hábitos de generación de los proveedores y evaluar la eficiencia del proceso de separación.
	Verificar que la carga que llega al CRRV cumpla con los requisitos establecidos para su aceptación <sup>4,5</sup> .	Esto permite detectar residuos con excesiva contaminación y enviarlos al sitio de disposición final antes de ingreso en las instalaciones.
	Tomar fotos o videos de los materiales no aceptables que ingresan al CRRV <sup>4</sup> .	Mostrar a los proveedores imágenes reales de la contaminación que contienen sus residuos les da mejor información para reconocer los materiales no admisibles.
Almacenamiento de residuos sin procesar	Almacenar los residuos según su grado de separación en la fuente <sup>2</sup> .	Los residuos que ya vienen separados por los usuarios podrían comercializarse con poco o ningún trabajo adicional. De esta manera se evita que se mezclen con los otros residuos.
	Almacenar los residuos peligrosos en el área destinada para tal fin <sup>4</sup> .	Estos residuos son propensos a derramar sustancias que podrían dañar los otros materiales e incrementar el riesgo de incendio. Se les debe almacenar lejos de residuos que podrían servir de combustible para las llamas.
Separación	Remover primero las películas plásticas y las piezas grandes de cartón <sup>4</sup> .	De esta manera se facilita la visualización de los otros reciclables.
Procesamiento	Utilizar siempre equipo de protección personal al manipular la maquinaria <sup>4,7</sup> .	La utilización de maquinaria representa un mayor riesgo de accidentes laborales.
	Aislar las zonas generadoras de ruido mediante pantallas <sup>4</sup> .	Especialmente en el caso de dismantelar chatarra u otras actividades ruidosas cerca de la vía pública o propiedades vecinas.
	Apagar los motores cuando no se está usando la máquina <sup>4</sup> .	Con el fin de reducir el consumo eléctrico de las instalaciones y ahorrar energía.
	Desconectar los equipos en periodos largos de inactividad <sup>4</sup> .	Con el fin de reducir el consumo eléctrico de las instalaciones y ahorrar energía.
Almacenamiento de materiales separados	Almacenar los materiales más cerca de la zona de carga entre menor sea su tiempo de rotación <sup>4</sup> .	Así se reduce el tráfico interno, la doble manipulación de materiales y el tiempo invertido para la labor de carga.
	Almacenar los materiales con menor tiempo de rotación directamente en los vehículos de transporte <sup>4</sup> .	Además de los beneficios anteriormente mencionados de esta manera se libera espacio de almacenamiento en las instalaciones.
	Almacenar las fibras sueltas lejos de puertas abiertas <sup>4</sup> .	Esto para evitar que sean dispersadas por el viento.

#### Continuación del Cuadro 4.14.

Procedimiento	Buena práctica	Observaciones
Almacenamiento de residuos peligrosos	Almacenar los residuos peligrosos aparte del resto <sup>4</sup> .	Esto para evitar que contaminen otros residuos y disminuir el riesgo de incendio.
	Etiquetar los recipientes contenedores <sup>4</sup> .	Esto con el fin de tener presentes los peligrosos asociados con la manipulación de cada tipo de material y darles el tratamiento adecuado.
Almacenamiento al aire libre	Recurrir al almacenamiento al aire libre solo si el material tiene un tiempo de rotación corto <sup>4,7</sup> .	Entre más pasen los residuos al aire libre mayor es la posibilidad de que se dañen. Si un material debe ser almacenado durante un periodo extenso de tiempo no debe tenerse al aire libre
	Considerar la resistencia del material a las condiciones a las que estará expuesto. El vidrio es el material más resistente <sup>4</sup> .	Los metales ferrosos se oxidarán con la humedad. El papel puede desintegrarse por la lluvia y el plástico HDPE disminuir su calidad al estar expuesto a la luz ultravioleta del sol.
	Cubrir los residuos con lonas y tapar los estañones de vidrio <sup>2</sup> .	Las lonas protegen la calidad de los materiales e impiden que sean dispersados por el viento. Los estañones en que se almacena el vidrio son propensos a acumular agua y suciedad.
Control de calidad	Inspeccionar visualmente los residuos al momento de su compactación <sup>7</sup> .	Incluso una pequeña fracción de material mal clasificado puede provocar la pérdida de valor de toda una paca de producto.

Fuente: <sup>1</sup>(Alzate, 2011), <sup>2</sup>(ARC, 2012), <sup>3</sup>(Aliarse, 2017), <sup>4</sup>(IRA, 2010), <sup>5</sup>(WRAP, 2006), <sup>6</sup>(Ecolones, 2018), <sup>7</sup>(A. Bonilla, junio 19, 2018).

### 4.3 VALIDACIÓN DE LAS BUENAS PRÁCTICAS PROPUESTAS PARA LOS CRRV MUNICIPALES DE COSTA RICA

Al taller de validación asistieron representantes de tres CRRV ubicados en la gran área metropolitana, por lo que los resultados de la investigación, que fue en su mayoría realizada a partir de CRRV ubicados en la región central del país, no pudieron ser validados por personal de instalaciones ubicadas en otras regiones. Más aún, gracias al aporte de los asistentes, se hicieron patentes algunas particularidades de los CRRV rurales que no fueron consideradas en el trabajo, por lo que se confirma el carácter urbano de los resultados.

Los CRRV visitados no lavan en ninguna ocasión los residuos que reciben, por lo cual no hay espacios destinados para este fin en las instalaciones y no se generan aguas residuales por este concepto, sin embargo, en el caso de CRRV de zonas rurales es común recibir envases de agroquímicos que requieren de *triple lavado*. Los envases de agroquímicos se destinan a su procesamiento en hornos cementeros y de acuerdo con el Decreto N° 31837-

S (2004), deben de recibir *triple lavado* antes de ser aceptados por la industria, por lo cual los CRRV que gestionan estos residuos deben contar con instalaciones, equipo de seguridad y procedimientos que permitan realizar el proceso de lavado.

Otra consideración respecto al carácter urbano de los resultados de la investigación es lo relativo a la aplicabilidad del programa Ecolones. Los CRRV visitados que se encontraban afiliados al programa han visto aumentada la cantidad y calidad de los materiales que ingresan a sus instalaciones, sin embargo, este éxito podría ser menor en zonas rurales, de acuerdo con la retroalimentación recibida en el taller. En criterio de los asistentes, los productos para los cuales se podría obtener descuento con Ecolones están dirigidos a un público meta con un estrato socioeconómico alto, por lo cual la motivación a participar en zonas rurales podría ser menor, además las distancias y el estado de los caminos hace más difícil que los usuarios se desplacen hasta las instalaciones en la misma proporción que en la ciudad. La validez del resto de las prácticas fue confirmada por los presentes para el contexto de sus respectivos cantones.



## **5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

Una limitación del estudio fue las pocas respuestas a la encuesta por parte de CRRV ubicados en zonas rurales. Las conclusiones se refieren principalmente a instalaciones ubicadas en la región central y metropolitana del país.

La ubicación, topografía y accesibilidad de los terrenos en que se ubican los CRRV estudiados son en general adecuadas y no afectan negativamente el desempeño de las instalaciones. El insuficiente tamaño del terreno y su cercanía a casas de habitación son los factores en que se debe mejorar para futuros proyectos.

En la mayoría de los casos la infraestructura de las edificaciones resulta inadecuada, pues no fue diseñada para funcionar como un CRRV, por lo que sus características no están orientadas a una máxima eficiencia en la operación.

Las inadecuadas condiciones de almacenamiento de residuos al aire libre comprometen la calidad de estos, afectando la remuneración a la que se puede acceder por ellos.

Los CRRV de propiedad municipal reciben residuos fundamentalmente de la recolección selectiva municipal, los procedimientos efectuados durante la recolección son de suma importancia para mejorar la calidad de los materiales que ingresan a las instalaciones.

La tecnología para clasificación con que cuentan los CRRV no representa una limitante considerable para el eficiente procesamiento de la cantidad de residuos que reciben.

Fueron observadas durante las visitas de campo, una serie de errores en la gestión del personal, incluyendo falta de capacitación e inadecuadas condiciones de trabajo, que repercuten negativamente en la productividad del personal y cuyo control es responsabilidad de la administración del CRRV.

No existe en general la práctica de documentar procesos en los CRRV analizados, la forma de trabajo depende del personal disponible y su experiencia en la actividad a ejecutar.

En los CRRV analizados se pesan únicamente los materiales clasificados al momento de su envío a las empresas recicladoras, no pesándose los residuos que ingresan las instalaciones ni tampoco los residuos que al final del proceso deben enviarse al sitio de disposición final, por lo que no es posible realizar un balance de masa de las instalaciones.

Los CRRV estudiados no realizan verificación de la calidad de la corriente de residuos de entrada. Todos los residuos que llegan a las instalaciones son recibidos y procesados lo que provoca que se asuma el costo de almacenar y manipular residuos por lo que no existe perspectiva de obtener un beneficio económico.

Los CRRV carecen de contratos formales con las empresas a las cuales venden los materiales lo que provoca inestabilidad en la planificación comercial.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Realizar investigación adicional enfocada en los CRRV municipales ubicados en otras regiones socioeconómicas del país más allá de la región central, con el fin de validar y complementar los resultados de la presente investigación para esas regiones.

Si las municipalidades desean incrementar la recuperación de residuos valorizables, deberán considerar la apertura de otros CRRV debido a la limitación de espacio en los ya existentes.

Contratar personal especializado para la gerencia y supervisión de los CRRV municipales.

Potenciar el encadenamiento con el sector privado para responder al componente 3 de la ENSRVR, que promueve el fortalecimiento del sector informal de la recuperación de residuos



Se deben establecer claramente los requerimientos del puesto a la hora de designar personal. Tanto la administración como los posibles operarios deben tener clara la exigencia de las actividades que se llevan a cabo en un CRRV.

El personal con limitaciones físicas puede ser asignado a labores de registro e inspección de calidad, requiriéndose contratar también personal apto para tareas de mayor exigencia física.

En procura de mejorar el desempeño de la operación, se debe iniciar por entender y registrar la forma actual de trabajo, por lo que se recomienda documentar los procesos.

Se debe llevar registro del porcentaje de residuos que debe desecharse con el fin de evaluar la efectividad del proceso de recuperación en el CRRV y tomar medidas para mejorar todo el sistema de gestión. Se debe dar énfasis a la reducción de la contaminación antes de su ingreso a las instalaciones.

Establecer convenios entre las municipalidades, organizaciones gremiales y universidades públicas para compartir capacitación y asistencia técnica en el diseño y la operación de los CRRV

Incorporar a la malla de la carrera de Ingeniería Ambiental más contenidos referentes al diseño y la operación esta clase de instalaciones, con el fin de que los egresados contribuyan de manera efectiva al mejoramiento de los CRRV

Promover el establecimiento de alianzas entre municipalidades para aumentar la capacidad instalada de los CRRV individuales

Para el cálculo de la tasa de valorización a nivel cantonal y nacional se deben considerar como valorizados los residuos al momento de su envío a las empresas recicladoras y no al momento de su recepción en el CRRV, pues parte de los residuos que ingresan a un CRRV terminan de todas maneras en un sitio de disposición final.

## 6 REFERENCIAS

- Abarca, L., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220–232.
- Aparcana, S. (2017). Approaches to formalization of the informal waste sector into municipal solid waste management systems in low- and middle-income countries: Review of barriers and success factors. *Waste Management*, 61, 593–607. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.028>
- Asian Development Bank (ADB). (2013). Materials Recovery Facility Tool Kit. Recuperado a partir de <https://www.adb.org/publications/materials-recovery-facility-tool-kit>
- Alzate, F. (2011). Importancia de la documentación de un sistema de calidad. Recuperado a partir de <http://iso9001-calidad-total.com/importancia-de-la-documentacion-de-un-sistema-de-calidad/>
- Agencia de Residuos de Cataluña (ARC). (2012). Guía de Buenas Prácticas para el Reciclaje y la Recuperación de Papel y Cartón en Cataluña. Recuperado a partir de [http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/prevencio/guiapapercartro\\_web\\_es.pdf](http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/prevencio/guiapapercartro_web_es.pdf)
- Asmus, S., Karl, F., Mohnen, A., & Reinhart, G. (2015). The impact of goal-setting on worker performance - Empirical evidence from a real-effort production experiment. *Procedia CIRP*, 26, 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.086>
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2010). Ley N° 8839 para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Recuperado a partir de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=68300&nValor3=83024&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=68300&nValor3=83024&strTipM=TC)

- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2012). Ley N° 7575 Forestal. Recuperado a partir de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526&strTipM=FN](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526&strTipM=FN)
- Barnala, P. (2011). Optimization of operating parameters of a material recovery facility using lean six sigma techniques. *Theses and Dissertations 520*. Recuperado a partir de <http://utdr.utoledo.edu/theses-dissertations/520>
- Campos, H. K. T. (2014). Recycling in Brazil: Challenges and prospects. *Resources, Conservation and Recycling*, 85, 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.017>
- Capel, C. (2008). Waste sorting: A look at the separation and sorting techniques in today's European market. Recuperado a partir de <https://waste-management-world.com/a/waste-sorting-a-look-at-the-separation-and-sorting-techniques-in-todayrsquos-european-market>
- Celdrán, J; Gómez, J; Carpena, J; Santa, S; López, R. & Puche, J. (2004). Manual de Buenas Prácticas de Producción para el Sector del Mueble y la Madera. Recuperado a partir de <http://www.cetem.es/rs/1050/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/6f6/fd/1/filename/manual-buenas-practicas-sector-mueble-cetem.pdf>
- Cimpan, C., Maul, A., Jansen, M., Pretz, T., & Wenzel, H. (2015). Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: A review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling. *Journal of Environmental Management*, 156, 181–199. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.03.025>
- Contraloría General de la República (CGR). (2016). *Informe de auditoría operativa acerca de la gestión de las municipalidades para garantizar la prestación eficaz y eficiente del servicio de recolección de residuos ordinarios*. Recuperado a partir de [https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docs\\_cgr/2016/SIGYD\\_D\\_2016002526.pdf](https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docs_cgr/2016/SIGYD_D_2016002526.pdf)

- Dubanowitz, A.J. (2000). *Design of a Materials Recovery Facility (MRF) For Processing the Recyclable Materials of New York City's Municipal Solid Waste* (tesis de maestría). Columbia University, Nueva York, Estados Unidos. Recuperado a partir de <http://www.seas.columbia.edu/earth/dubanmrf.pdf>
- Ecolones. (2018). Requisitos para canjear residuos por ecolones. Recuperado a partir de <https://ecolonescr.com>.
- European Environment Agency (EEA). (2009). Diverting waste from landfill: Effectiveness of waste-management policies in the European Union. Recuperado a partir de <https://www.eea.europa.eu/publications/diverting-waste-from-landfill-effectiveness-of-waste-management-policies-in-the-european-union>
- Fundación para la Sostenibilidad y la Equidad (Aliarse). (2016). Condiciones para la entrega de residuos valorizables a empresas recolectoras y transformadoras de Costa Rica. Recuperado a partir de <http://www.aliarse.org/wp-content/uploads/2017/08/Gu%C3%ADa%20de%20condiciones%20entrega%20materiales%20valorizables.pdf>
- Fundación para la Sostenibilidad y la Equidad (Aliarse). (2017). *Guía de buenas prácticas en la implementación del plan municipal de gestión integral de residuos sólidos*. Recuperado a partir de <http://aliarse.org/wp-content/uploads/2017/08/Guia-MejoresPr%C3%A1cticas-Municipales-en-GIRS.pdf>
- Granados, S. (2014). *Cuantificación y caracterización de los Residuos Sólidos municipales, para diseñar un centro de recuperación de Residuos Sólidos, en la comunidad de Orosi, Paraíso, Cartago, Costa Rica* (tesis de pregrado). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Grandela, P; Honold; I. & Mansilla, P. (2007). Guía de Buenas Prácticas Ambientales para Instalaciones de Acopio de Chatarra. Recuperado a partir de [http://www.gerdau.cl/files/catalogos\\_y\\_manuales/Guia\\_de\\_Buenas\\_Practicas\\_Ambientales.pdf](http://www.gerdau.cl/files/catalogos_y_manuales/Guia_de_Buenas_Practicas_Ambientales.pdf)

- Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. *Urban Development Series; Knowledge Papers No.15*, World Bank, 116. <https://doi.org/10.1111/febs.13058>
- Illinois Recycling Association (IRA). (2010). Best Operational Practices Manual for Materials Recovery Facilities and Recycling Drop-off Facilities. Recuperado a partir de [http://www.illinoisrecycles.org/wp-content/uploads/2014/10/IRA\\_BOPM\\_2010.pdf](http://www.illinoisrecycles.org/wp-content/uploads/2014/10/IRA_BOPM_2010.pdf)
- Jones, M. Times and motion analyses of manual sorting procedures at materials recovery facilities. (1992). Recuperado a partir de <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/nawtec/1992-National-Waste-Processing-Conference/1992-National-Waste-Processing-Conference-24.pdf>
- Leblanc, R. (2017). An Introduction to Solid Waste Management: Integrated Approach Needed for Successful Diversion and Recycling. Recuperado a partir de <https://www.thebalancesmb.com/an-introduction-to-solid-waste-management-2878102>
- Lewis, H. (2007). Centenary History of Waste and Waste Managers in London and South-East England. Recuperado a partir de <https://www.ciwm.co.uk/Custom/BSIDocumentSelector/Pages/DocumentViewer.aspx?id=QoR7FzWBtitMKLGdXnS8mUgJfkM0vi6KMAYwUqqau3ztZeoed%252bsdmKIqDzPOm8yAXgBZR%252fn1fYhL%252bTNdjUq9g2xwY63C2g8GcAQQyfpf3SI mIrrED%252bTfsUM91bKsogr>
- Lobo, S, Marín, M., Rudin, V., & Salas, F. (2016). Análisis de los retos para el desarrollo de la Cadena de Valor del Reciclaje en Centroamérica. Recuperado a partir de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/8102/Analisis-de-los-retos-para-el-desarrollo-de-la-cadena-de-valor-del-reciclaje-en-Centroamerica.pdf?sequence=1>
- Ministerio de Salud (MS). (2007). Decreto N° 33745-S Reglamento sobre Llantas de Desecho. Recuperado a partir de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=60030&nValor3=67344&strTipM=FN](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=60030&nValor3=67344&strTipM=FN)

Ministerio de Salud (MS). (2010a). Decreto N°36093-S Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios. Recuperado a partir de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=68467&nValor3=81730&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=68467&nValor3=81730&strTipM=TC)

Ministerio de Salud (MS). (2010b). Decreto N° 35906-S Reglamento de Centros de Recuperación de Residuos Valorizables. Recuperado a partir de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=67848](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=67848)

Ministerio de Salud (MS). (2010c). Decreto N° 35993-S Reglamento sobre la gestión integral de residuos electrónicos. Recuperado a partir de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=67850&nValor3=80550&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=67850&nValor3=80550&strTipM=TC)

Ministerio de Salud (MS). (2012). Decreto N° 34728-S Reglamento General para el Otorgamiento de Permisos de Funcionamiento del Ministerio de Salud. Recuperado a partir de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=63938&nValor3=92587&strTipM=FN](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=63938&nValor3=92587&strTipM=FN)

Ministerio de Salud (MS). (2016a). Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos (ENSRVR). Recuperado a partir de <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/sobre-el-ministerio/politcas-y-planes-en-salud/estrategias/3026-estrategia-nacional-de-reciclaje-2016-2021/file>

Ministerio de Salud (MS). (2016b). Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2016-2021. Recuperado a partir de <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/sobre-el-ministerio/politcas-y-planes-en-salud/planes-en-salud/3025-plan-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-2016-2021/file>

- Ministerio de Salud (MS). (2017). Decreto N° 31837-S Reglamento de requisitos, condiciones y controles para la utilización de combustibles alternos en los hornos cementeros. Recuperado a partir de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=53003&nValor3=0&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=53003&nValor3=0&strTipM=TC)
- Pérez, M. (2016). Las áreas funcionales de la empresa. Recuperado a partir de <http://publicacionesdidacticas.com/hemeroteca/articulo/069027/articulo-pdf>
- Programa Competitividad y Medio Ambiente (CYMA). (2011). Guía técnica y operativa para centros de recuperación de residuos sólidos valorizables. San José, Costa Rica.
- Richers, B; Harvey, C; Casanoves, F. DeClerck, F & Benjamin T. (2011). ¿Cómo hacer talleres participativos con respuestas individuales? *Agroforestería en las Américas*, 48, 157 – 163, ISSN: 1022-7482
- Secretaría de Desarrollo Humano y Política Ambiental (SAyDS). (2000). Manual Operativo de Valorización de Residuos Sólidos Urbanos para Medianos y Pequeños Asentamiento de Argentina. Recuperado a partir de [https://www.kpesic.com/wp-content/uploads/2018/02/manual\\_operativo\\_valorizacion.pdf](https://www.kpesic.com/wp-content/uploads/2018/02/manual_operativo_valorizacion.pdf)
- Tan Fácil Como (2017). Calcomanías para contenedores. Recuperado a partir de <http://www.tanfacilcomo.go.cr/calcomanias-para-contenedores/>
- Troschinetz, A. (2005). Twelve factors influencing sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. Master's Thesis, Michigan Technological University.
- Troschinetz, A. M., & Mihelcic, J. R. (2009). Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. *Waste Management*, 29(2), 915–923. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.04.016>

- Unión Europea (UE). (2008). Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008. Recuperado a partir de <https://goo.gl/BXyE2U>
- Unión Europea (UE). (2011). Decisión 2011/753/EU de la Comisión Europea de 18 de noviembre de 2011. Recuperado a partir de <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:310:0011:0016:EN:PDF>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2015). Global Waste Management Outlook. Recuperado a partir de <http://web.unep.org/ourplanet/september-2015/unep-publications/global-waste-management-outlook>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2017). Asia Waste Management Outlook. Recuperado a partir de <https://goo.gl/VH958N>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (1995). MITE Program Evaluation: Environmental, Economic and Energy Impacts of Material Recovery Facilities. Recuperado a partir de <https://goo.gl/4nuAfP>
- Waite, S., Cox, P., & Tudor, T. (2015). Strategies for local authorities to achieve the EU 2020 50% recycling, reuse and composting target: A case study of England. *Resources, Conservation and Recycling*, *105*, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.09.017>
- Waste and Resources Action Programme (WRAP). (2006). MRFs Comparison of Efficiency and Quality. Recuperado a partir de [http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/MRF\\_v6\\_19Dec06\\_LC.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/MRF_v6_19Dec06_LC.pdf)
- Waste and Resources Action Programme (WRAP). (2010). Near Infrared sorting of household plastic packaging. Recuperado a partir de <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/NIR%20Good%20practice%20guidance%20for%20existing%20NIR%20users%20Final.pdf>
- Zafar, S. (2017). Introduction to MRF. Recuperado a partir de <https://www.ecomena.org/materials-recovery-facility/>



## **APÉNDICE**

## **Apéndice 1: Encuesta dirigida a responsables de los Centros Municipales de Recuperación de Residuos Valorizables**

La presente investigación de tesis del Instituto Tecnológico de Costa Rica tiene como objetivo conocer los factores técnicos y ambientales que afectan el diseño y la operación de los centros municipales de recuperación de residuos valorizables (CRRV), conocidos como centros de acopio, en Costa Rica. Conocedores del interés del sector municipal por avanzar cada vez en mayor medida hacia prácticas sostenibles para la gestión de residuos, al tiempo que se optimiza el uso de los recursos del municipio, solicitamos de la manera más atenta se analice y complete la encuesta que se adjunta a continuación. La información suministrada pretende contribuir al mejoramiento del funcionamiento de los centros de acopio por medio de una guía de buenas prácticas. Quisiéramos indicarle que le garantizamos estricta confidencialidad en el manejo de la información, la cual será utilizada únicamente con propósitos meramente académicos.

Nombre del cantón:

---

Nombre de la persona que responde:

---

Correo electrónico:

---

Teléfono de oficina:

---

## Sección 1: Propiedad del CRRV

1. ¿La municipalidad es propietaria de un CRRSV?

Sí

No

- Si la respuesta es negativa:

¿Se planifica la construcción o adquisición de un CRRSV?

Sí

No (Fin de la encuesta)

¿En qué año se espera que entre en operación?

---

¿Cuántos residuos se planifica recibir mensualmente? (Fin de la encuesta)

---

- Si la respuesta es afirmativa:

¿Cuántos años lleva en operación?

---

## Sección 2: Localización y características del terreno donde se ubican las instalaciones

2. ¿Cuál es la distancia (km) entre las instalaciones y el principal centro de población donde se generan los residuos que se procesan?

---

3. ¿Cómo calificaría el estado de los caminos que llevan al CRRSV?

Muy malos

Malos

Regulares

Buenos

Muy buenos

**Cuadro A.1.1. Localización y características del terreno donde se ubica el CRRSV.**

<b>Factor</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>
¿El acceso a las instalaciones es apropiado para vehículos sin doble tracción?		
¿El terreno presente riesgo de deslave, hundimiento o inundación?		
¿El terreno se encuentra cercano a casas de habitación?		
¿El terreno cuenta con área suficiente para una eventual expansión de las instalaciones?		
¿El terreno cuenta con área de amortiguamiento entre las propiedades vecinas y las instalaciones del CRRV?		
¿Las instalaciones se encuentran cercanas a cuerpos de agua superficiales o subterráneos?		

**Sección 3: Infraestructura****Cuadro A.1.2. Característica de la infraestructura del CRRSV.**

<b>Factor</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	
Infraestructura perimetral	¿Se cuenta con malla de seguridad u otra barrera alrededor del perímetro de la propiedad?		
	¿La barrera impide que los residuos acumulados sean vistos desde el exterior de las instalaciones?		
Parqueo, carga y descarga de residuos	¿El área de parqueo para vehículos particulares se encuentra separada de la zona para carga y descarga de camiones?		
	¿Se cuenta con un muelle de carga?		
General	¿Las instalaciones actuales fueron construidas específicamente para albergar el CRRV?		
	¿El diseño de las instalaciones maximiza el espacio libre (diseño tipo almacén)?		
Almacenamiento	¿El área de almacenamiento se encuentra techada?		
	¿La capacidad de almacenamiento es suficiente para contener los residuos correspondientes a al menos tres días de recolección?		
	¿El piso del área de almacenamiento es de concreto?		
	¿Existe acceso directo entre el área de almacenamiento y el área de separación de residuos?		
Alcantarillado	¿Se cuenta con alcantarillado para canalizar el agua residual producto del lavado y de la lluvia?		
	¿Se cuenta con rejillas en los sumideros para evitar el arrastre de residuos sólidos?		

## Sección 4: Equipo y mobiliario

Cuadro A.1.3. Equipo y mobiliario disponible en el CRRSV.

¿Se cuenta con los siguientes equipos?		Sí	No
Carga, descarga, pesaje	Romana para camiones		
	Nivelador de andén		
	Romana de piso		
Transporte interno de residuos	Carretilla hidráulica		
	Cargador		
	Montacargas		
Almacenamiento	Barrera móvil		
	Anaqueles		
Clasificación	Mesa de clasificación		
	Banda transportadora		
	Bag Breaker		
	Trómel		
	Separador magnético		
	Separador óptico		
Procesamiento	Compactadora		
	Quebradora de vidrio		

4. ¿Se cuenta con algún otro equipo? ¿Cuál?

---

## Sección 5: Gestión de la materia prima

Si tiene un registro amplio de las entradas y salidas de residuos al CRRSV puede enviar el archivo al correo: [masisleandrokenneth@gmail.com](mailto:masisleandrokenneth@gmail.com). Los datos serán utilizados únicamente con fines académicos.

5. ¿Cuántos residuos (ton) ingresan en promedio por mes a las instalaciones del CRRSV?

---

6. De los residuos de la pregunta 5: ¿cuántos se venden en promedio mensualmente?

---

7. De los residuos de la pregunta 5: ¿cuántos se destinan para su coprocesamiento (horno cementero) en promedio mensualmente?

---

8. De los residuos de la pregunta 5: ¿cuántos se destinan para su disposición final en botadero o relleno sanitario en promedio mensualmente?

---

**Cuadro A.1.4. Proveedores de residuos al CRRSV.**

<b>Factor</b>	<b>Siempre</b>	<b>Casi siempre</b>	<b>Algunas veces</b>	<b>Muy pocas veces</b>	<b>Nunca</b>
¿Se reciben residuos provenientes de la recolección municipal?					
¿Se reciben residuos provenientes de recolectores o centros de recuperación privados?					
¿Se reciben residuos de recuperadores informales (buzos)?					
¿Se reciben residuos de usuarios particulares que se desplazan al CRRV?					
¿Se establece un contrato escrito con las fuentes generadoras de residuos?					
¿Se amonesta a las fuentes generadoras que incumplen los requisitos establecidos para la recepción de residuos?					

**Cuadro A.1.5. Característica de la corriente de residuos que ingresa al CRRSV.**

<b>Factor</b>	<b>Siempre</b>	<b>Casi siempre</b>	<b>Algunas veces</b>	<b>Muy pocas veces</b>	<b>Nunca</b>
¿Ingresan residuos provenientes de rutas de recolección con distintos requisitos de separación?					
¿Ingresan residuos peligrosos (envases de productos de limpieza, herbicidas o pesticidas, baterías, pilas, medicamentos, electrónicos, termómetros, fluorescentes)?					
¿Los residuos ingresan en bolsas plásticas (en lugar de sueltos)?					
¿Los residuos vienen en bolsas con un peso individual máximo de 15 kg?					
¿Los residuos vienen en bolsas transparentes?					
¿Los residuos ingresan limpios?					
¿El papel y el cartón vienen separados del resto de los residuos?					
¿El vidrio viene separado del resto de los residuos?					
¿Los residuos vienen separados en bolsas con distintivos de colores según material?					

**Sección 6: Gestión del recurso humano**

9. ¿Quién contrata a los operarios del CRRSV?

- La municipalidad
- Una empresa privada
- Una organización comunal

Otro: \_\_\_\_\_

10. ¿Con cuántos operarios permanentes cuenta el CRRSV?

---

11. Si los operarios son funcionarios municipales: ¿Cuántos son contratados con salario fijo? ¿Cuántos por jornales ocasionales?

**Cuadro A.1.6. Características del personal disponible en el CRRSV.**

Factor	Siempre	Casi siempre	Algunas veces	Muy pocas veces	Nunca
¿Existe un jefe de planta encargado de la supervisión de la operación del CRRV?					
¿Existe personal encargado de gestión comercial (búsqueda de compradores, atender reclamos de los compradores)?					
¿Los operarios que se asignan al CRRV son trasladados de otras áreas de la municipalidad debido a limitaciones físicas o condiciones adversas de salud?					
¿Se capacita a nuevos los trabajadores?					
¿Se dan refuerzos de capacitación a los trabajadores permanentes?					
¿Se evalúa el desempeño de los operarios?					

**Cuadro A.1.7. Contenido del programa de capacitación del CRRSV.**

¿Se incluyen los siguientes contenidos en el programa de capacitación?	Sí	No
Entrenamiento práctico		
Principales impactos al medio ambiente de las operaciones efectuadas		
Forma de proceder en caso de accidente para minimizar los impactos ambientales		
Correcto almacenamiento y etiquetado de residuos peligrosos		
Correcto funcionamiento de las distintas máquinas utilizadas		
Correcta utilización del equipo de protección personal		
Requerimientos exigidos por los compradores		
Forma de proceder ante materiales poco comunes (cerámica, PVC)		



**Cuadro A.1.8. Ergonomía de las estaciones de clasificación.**

<b>Factor</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>
¿Se cuenta con un programa de salud ocupacional?		
¿El alto de la estación (mesa, banda) de clasificación se encuentra entre 91 cm y 107 cm?		
¿Se cuenta con plataformas para elevar a los trabajadores a quienes la estación de clasificación resulte alta?		
¿El ancho de la línea de clasificación es de máximo 91 cm?		
¿El diseño de la estación de clasificación provee espacio para las rodillas?		
¿La apertura de los recipientes de clasificación es suficientemente grande para introducir los residuos con facilidad?		
¿La altura de los recipientes supera a la de la estación de clasificación?		

**Sección 7: Procedimientos de trabajo**

**Cuadro A.1.9. Procedimientos de trabajo del CRRSV.**

<b>Factor</b>	<b>Siempre</b>	<b>Casi siempre</b>	<b>Algunas veces</b>	<b>Muy pocas veces</b>	<b>Nunca</b>
General	¿Los procedimientos de trabajo se encuentran por escrito?				
Recepción de los residuos	¿Se registra la fecha de entrada, origen, descripción, cantidad y transportista de los residuos?				
	¿Se verifica que la carga cumple con los requisitos indicados a las fuentes generadoras y recolectores?				
	¿Se indica a los proveedores cuando los residuos no cumplen con los requisitos pactados?				
	¿Se rechazan los residuos que no cumplen con los requisitos?				
Almacenamiento	¿Los residuos que ingresan separados a las instalaciones se almacenan separados según su separación?				
	¿En ausencia de techo los residuos se cubren con lonas en los días de viento o lluvia?				
	¿Los residuos peligrosos se almacenan aparte del resto de los residuos?				

**Continuación del Cuadro A.1.9.**

	<b>Factor</b>	<b>Siempre</b>	<b>Casi siempre</b>	<b>Algunas veces</b>	<b>Muy pocas veces</b>	<b>Nunca</b>
Clasificación	¿Se llenan directamente pacas grandes en lugar de recipientes pequeños que luego se depositan en las pacas?					
	¿Cada clasificador extrae materiales específicos en lugar de todos los clasificadores todos los materiales?					
	¿Se remueven primero las bolsas sueltas, películas plásticas y piezas grandes de cartón para facilitar la visualización de otros materiales?					
	¿Los materiales difíciles de extraer se clasifican negativamente (removiendo todos los demás materiales de la corriente)?					
Procesamiento de materiales separados	¿Los residuos se compactan para su transporte a las empresas recicladoras?					
	¿El vidrio se quiebra para su transporte a las empresas recicladoras?					
	¿Se apagan los motores cuando no están en uso?					
	¿Se desconectan los equipos en periodos largos de inactividad?					
Control de calidad	¿Se cuenta con un contrato escrito donde se establece la calidad de los materiales clasificados a entregar?					
	¿Se verifica y registra la calidad de los materiales clasificados?					
	¿Se etiquetan las pacas para poder trazar el día y personal clasificador en caso de presentarse un reclamo?					
Disposición de residuos del proceso	¿Se entregan los residuos del proceso a un gestor autorizado (o la municipalidad)?					
	¿Se registra la salida de los residuos generados, tipo, cantidad, gestor y transportista?					
	¿Se verifica que los transportistas de residuos peligrosos cuenten con los permisos correspondientes?					

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: PROGRAMA DEL CURSO RECUPERADOR O RECUPERADORA DE DESECHOS SÓLIDOS IMPARTIDO POR EL INA**

### **Requisitos de ingreso al programa:**

- Saber leer y escribir
- Dominar las cuatro operaciones básicas de matemáticas

### **Código**

TMTM140

### **Nombre Módulo**

Recuperación de desechos sólidos municipales o reutilizables en un centro de acopio

### **Horas**

80

### **Objetivo Curricular**

Recuperar los desechos sólidos reciclables y reutilizables provenientes de la comunidad, empresas o cualquier otra fuente por medio de la recolección, identificación, separación y almacenamiento de estos en un centro de acopio seguro, limpio y ordenado para su posterior comercialización.

### **Ejes temáticos**

- Fundamentos del manejo de desechos sólidos y su impacto en el ambiente.
- Programa de reciclaje para la recolección de los desechos sólidos.
- Medidas de seguridad y salud ocupacional en el acopio de los materiales.
- Recolección de los desechos sólidos para el traslado al centro de acopio.
- Separación de los materiales reciclables y reutilizables recolectados en el centro de acopio.
- Visitas de trabajo a centros de acopio y practicas supervisadas.
- Equipos básicos para un centro de acopio.
- Empaque de materiales de acuerdo con las especificaciones de los clientes.

**Código**

TMTM156

**Nombre Módulo**

Contaminación del agua y el aire

**Horas**

18

**Objetivo Curricular**

Aplicar conocimientos básicos acerca de la contaminación del agua y del aire como producto de las actividades humanas, que permitan el fortalecimiento de acciones orientadas a proteger el ambiente y la salud humana.

**Ejes temáticos**

- La contaminación del agua, de acuerdo con la situación actual en costa rica.
- Métodos de tratamiento para aguas residuales, de acuerdo a los más utilizados en la industria.
- Legislación costarricense correspondiente al tratamiento de aguas residuales, de acuerdo con los decretos vigentes.
- Fuentes y tipos de contaminantes del agua,
- Contaminación del aire, según las consecuencias que ocasiona sobre el ambiente incluyendo al ser humano.
- Métodos de control de las emisiones al aire más utilizados, según su principio de funcionamiento.
- Leyes y reglamentos de inmisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con la legislación vigente en costa rica.
- Fuentes y tipos de contaminantes del aire, mediante casos reales en el sitio de trabajo y comunidad.