

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA



MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL

DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN CUBA.

CASO PROVINCIA DE VILLA CLARA

Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Económicas

MACYURI ALVAREZ LUNA

Santa Clara

2020

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA



MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL

DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN CUBA.

CASO PROVINCIA DE VILLA CLARA

Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Económicas

Autor: Prof. Aux. Lic. Macyuri Alvarez Luna, MSc.

Tutoras: Prof. Tit., Lic. Grisel Y. Barrios Castillo, Dra. C.

Prof. Tit., Ing. Lesday Martínez Fernández, Dra. C.

Santa Clara

2020

EXERGO

«Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad».

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

A esta revolución socialista que ha dado a todos por igual la oportunidad de estudiar para enfrentar la vida con mayores conocimientos.

A toda mi familia, la de sangre (padres, hermanos, hijos, esposo, sobrinas) y la de labor diaria (Mary, Sara, Ricardo, Norma Melitina, Yudiesky, Dayana, Sofía, Elier, Raúl Yoel, María del Carmen, Grizel María, Mignelys y Yelenys) por contribuir con su cariño, apoyo, comprensión y criterios al logro de la meta final.

A mi esposo por estar siempre a mi lado, y contar con su ayuda incondicional en este largo proceso.

Especialmente a mis tutoras: Dra. C. Grisel Yolanda Barrios Castillo quien fue mi profesora del pregrado, maestría, mi colega, jefa de departamento y familia, por siempre confiar en mí y la Dra. C. Lesday Martínez Fernández por su amistad, estar presente a cada paso y corregir los aspectos técnicos de la investigación.

A la decana de la facultad Dra. C. Maylín Suárez González por su apoyo en momentos difíciles de mi vida, en el trabajo, la investigación y ser parte de esa gran familia que somos en la vida.

Al Dr. Cs. José Fernando Martirena Hernández quien desde el principio fue el motor impulsor de este trabajo.

Al Dr. C. Inocencio Raúl Sánchez Machado por contar con su opinión siempre tan valiosa para mí.

Al Dr. C. Yudiesky Cancio Díaz por su amistad, criterios y por ser un hermano para mí.

A los doctores que formaron parte del tribunal del acto de predefensa (Roberto, Elier, Alexis, Jaime, Elena, Idalberto y José Ramón) así como los oponentes (Sergio y Carlos) por sus sugerencias y recomendaciones que ayudaron a perfeccionar este trabajo.

A todos los doctores de la Facultad de Ciencias Económicas quienes con sus importantes criterios contribuyeron a la maduración y culminación de esta labor.

A mis alumnos que me obligan a dar lo mejor de mí en cada momento.

A mis diplomantes que vencieron etapas complejas a mi lado.

A todos los directivos y trabajadores de las entidades que aportaron información a este trabajo.

A todos los que de una manera u otra hicieron posible la realización de este sueño.

DEDICATORIA

A todos los que contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional: mi familia, amigos, profesores, compañeros y directivos. Y a los que hacen de mí una mejor persona cada día: mis alumnos.

SÍNTESIS

En la presente investigación se diseña un modelo para la gestión integral de los residuos de construcción y demolición (RCD), el cual concibe mediante un esquema gráfico y conceptual cómo organizar el ciclo de aprovechamiento de estos, validado por el método de expertos. Se establecen las relaciones internas y externas de los actores económicos que intervienen en la gestión de los RCD en Cuba y se valida a través del caso de estudio de la provincia de Villa Clara. Se generan 80 137 m³ de RCD estimados anuales por las principales entidades del sector de la construcción y los núcleos domiciliarios, los cuales pudieran ser valorizados en la producción de materiales de construcción y así contribuir al desarrollo local y a mitigar la escasez del árido natural; sin embargo, se depositan en los vertederos al carecer de un enfoque sistémico de gestión. Se concibe un procedimiento que operacionaliza el modelo y se valida por el estudio de caso en el taller de producción de materiales de construcción de Manicaragua, el cual evidencia que los bloques de 10 cm fabricados con árido reciclado tienen mayor impacto económico (se ahorra \$ 0,17), social (producciones adicionales) y ambiental (menor emisión de CO₂) que los bloques fabricados con árido natural.

ÍNDICE	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	11
1.1. Conceptualización de los RCD.....	11
1.2. La gestión de los RCD para la producción de los áridos reciclados.....	22
1.3. Valoración crítica de los modelos de gestión de los RCD	35
CAPÍTULO 2. MODELO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN CUBA	40
2.1. Necesidad del reciclaje de los RCD en la provincia de Villa Clara	40
2.2. Análisis crítico de la gestión de los RCD en Cuba	45
2.3. Modelo para la gestión integral de los RCD en Cuba	53
2.4. Procedimiento para la gestión integral de los RCD en Cuba.....	58
CAPÍTULO 3. VALIDACIÓN DEL MODELO Y EL PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.....	80
3.1. Validación del modelo por el método de criterio de expertos	80
3.2. Validación del procedimiento de gestión integral de los RCD por el método de expertos.....	85
3.3. Aplicación del procedimiento a la gestión de los RCD en el Taller de Producción Local de Materiales de Construcción de Manicaragua.....	87
CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
ANEXOS	134
Anexo 1. Etapas de los modelos de gestión integral de RCD	134
Anexo 2. Dendograma de casos.....	135

Anexo 3. Resumen del análisis de conglomerados jerárquicos	136
Anexo 4. Entrevista estructurada	137
Anexo 5. Canteras de la provincia de Villa Clara	138
Anexo 6. Capacidad productiva anual de las canteras de Villa Clara	139
Anexo 7. Documentos de referencia normativa que regulan el control del medioambiente (RSU)	140
Anexo 8. Documentos de referencia normativa que regulan el control del medioambiente (áridos naturales).....	143
Anexo 9. Municipios donde se implementó el proyecto Hábitat I	144
Anexo 10. Guía para entrevista estructurada aplicada a directivos del sector de la construcción, Empresa Provincial y Municipal de Comunales y delegados del poder popular de Santa Clara.....	145
Anexo 11. Proyecto “Sistema de Recogida de Escombros”.....	146
Anexo 12. Etapas de la capacitación mediante la aplicación de la técnica del taller	148
Anexo 13. Cuestionario aplicado para la selección de los expertos que participan en la validación del modelo	151
Anexo 14. Instrumento aplicado a cada experto para la validación del modelo ...	152
Anexo 15. Procedimiento para la selección de los expertos.....	153
Anexo 16. Cuestionario aplicado a los expertos para la validación del procedimiento	156
Anexo 17. Procedimiento para la aplicación del test de Kendall	158
Anexo 18. Encuesta aplicada posterior a la capacitación de los especialistas del Taller de Producción Local de Materiales de Construcción del municipio de Manicaragua	159
Anexo 19. Informe final sobre la caracterización de los RCD en el taller de Manicaragua	161

Anexo 20. Modelo 1. Generación mensual de RCD.....	164
Anexo 21. Modelo 2. Generación y aprovechamiento anual de los RCD	165
Anexo 22. Metodología empleada para el cálculo de las emisiones	166
Anexo 23. Comparación de categorías de impacto y de daños en el bloque de 10 cm con AN y con AR	168
Anexo 24. Inventario de entradas y salidas del sistema para cada alternativa	169
Anexo 25. Categorías de impacto analizadas en el estudio	170

INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios la especie humana ha explotado diversos recursos que la naturaleza ha puesto a su alcance, pero es a partir de la expansión de la economía basada en el consumo de utilizar y desechar, cuando los residuos generados y su eliminación se convierten en un problema medioambiental de proporciones críticas. En las últimas décadas la generación de residuos se ha incrementado de forma considerable (Belmonte-Sánchez, 2009, Vidal *et al.*, 2011, Altabella *et al.*, 2013) como resultado de la concentración de la población en núcleos urbanos, los cambios demográficos, la utilización de bienes materiales de rápido deterioro, y el uso cada vez más generalizado de envases sin retorno, fabricados con materiales no degradables. Según informe del Banco Mundial, la cifra en el año 2016 era de 2 000 millones de toneladas anuales y se incrementará en 2050 en un 70 %, lo que representa un volumen de 3 400 millones de toneladas anuales (Kaza *et al.*, 2018).

Esta generación de residuos sólidos y su manejo inadecuado han contribuido a la ocurrencia de situaciones alarmantes como la contaminación de los suelos, la disminución de la calidad ambiental de los ecosistemas marinos e insulares, la ocupación incontrolada del territorio que genera la destrucción de los espacios naturales, así como la creación de focos infecciosos que deterioran la calidad de vida de la población (Mercante, 2007, Altabella *et al.*, 2013).

La modernización de áreas urbanas donde se desarrollan acciones de rehabilitación, reparación y demolición, sumado al impacto de los fenómenos de la naturaleza, como los huracanes, terremotos y otros, genera un tipo específico de residuo sólido, definido en la literatura especializada como Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) (Lorena *et al.*, 2012, Peña, 2012).

La gestión de estos residuos se ha convertido en un problema acuciante al que se debe enfrentar la sociedad actual. Dada la generación creciente de residuos, se buscan nuevos enfoques hacia sistemas más eficientes para toda la cadena de gestión, que comiencen con la recogida selectiva, continúen con los distintos tipos de tratamiento y terminen con la salida de los productos recuperados de dichos residuos.

Como resultado de lo anterior el reciclaje es de vital importancia como método de tratamiento de este tipo de residuo, con el fin de garantizar su aprovechamiento, lo que contribuye a mitigar la escasez del árido tradicional pues permite obtener nuevos áridos que se pueden reutilizar y comercializar como materiales de construcción utilizados como bases y sub-bases de pavimento para carreteras, terraplenes y caminos, mantenimiento de calles, así como en la conformación de productos para la fabricación de viviendas: bloques, baldosas, celosías, adoquines, entre otros. Este método proporciona ventajas en lo ambiental con la reducción del número de explotaciones mineras necesarias para suministrar la materia prima original, así como la disminución de los vertederos lo que favorece la protección del recurso natural no renovable y en el aspecto económico-social las inversiones realizadas en la búsqueda de nuevas tecnologías, métodos de reciclaje y la construcción de plantas para ejecutarlos, además de la diversidad de empleos que genera este proceso por la fuerza laboral que se necesita desde la recolección, clasificación, hasta el procesamiento de los residuos.

La necesidad de reciclaje de los residuos de construcción y demolición no solamente concierne a las comunidades más industrializadas, sino también a los países en vías de desarrollo que necesitan optimizar sus recursos. Las experiencias en el uso de RCD de países con mayor desarrollo tales como Holanda, Dinamarca y Bélgica (Aguilar, 2016, Suárez-

Silgado *et al.*, 2018) han estado orientadas al establecimiento de normativas, implementación de múltiples alternativas de comunicación para sensibilizar a la población e instituciones.

Los países latinoamericanos, a pesar de no tener toda la infraestructura necesaria para reciclar, experimentan también en estos campos con vistas a mitigar el agotamiento de los recursos naturales debido a las afectaciones que provoca sobre el ecosistema (Carrasco, 2018, Suárez-Silgado *et al.*, 2019).

Cuba no está ajena a la situación anterior al reportar un incremento del volumen de desechos sólidos recolectados por provincias de un 94 % en 2018 con respecto a 2012, según ONEI (2018). Dentro de estos residuos los RCD no son aprovechados como materia prima para la obtención del árido reciclado, pues se reporta una cifra superior (1,24 %) de desechos vertidos que los recolectados, lo que provoca un impacto negativo para el medioambiente y la sociedad. A lo anterior se le adiciona la creciente demanda de áridos tradicionales como consecuencia de un sostenido proceso inversionista y de mantenimiento constructivo, lo que origina ritmos de extracción insostenibles (Hernández-Jatib y Guilarte-Cutiño, 2018, Llevat Madrazo, 2018, Rosales de León, 2018).

Existe un conjunto de investigaciones desarrolladas por (Díaz *et al.*, 2003, Casado, 2012, Bizcocho Tocón, 2014, Sáez, 2014, Suárez Silgado, 2016, Bermejo Urzola, 2016, Jiménez, 2018, Carrasco Montesdeoca, 2018, Rodríguez, 2019, Sánchez Roldán, 2019) con el objetivo de aprovechar los RCD; sin embargo, se carece de herramientas metodológicas (modelos y procedimientos) cuyo objetivos estén encaminados a orientar una gestión integral de estos.

Por su parte, la política expresada en los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución (PCC, 2016), aprobados en el 7^{mo} Congreso del PCC, establece:

- Recuperar e incrementar la producción de materiales para la construcción que aseguren los programas inversionistas priorizados del país (turismo, viviendas, industriales, entre otros), expansión de las exportaciones y la venta a la población. Desarrollar producciones con mayor valor agregado y calidad. Lograr incrementos significativos en los niveles y diversidad de las producciones locales de materiales de construcción y divulgar sus normas de empleo (Lineamiento 189).
- Promover la intensificación del reciclaje y el aumento del valor agregado de los productos recuperados. Priorizar el aprovechamiento del potencial de los residuos sólidos urbanos (Lineamiento 191).

En la provincia de Villa Clara el reciclaje de los RCD para sustituir el árido natural constituye una opción poco usada (Jiménez-Martínez *et al.*, 2019). Las causas fundamentales vienen dadas porque existe una estructura institucional para el control higiénico-sanitario y ambiental caracterizada por una normativa dispersa, contenida en leyes, decretos-leyes, decretos, normas, reglamentos y otras disposiciones dirigidas a los residuos sólidos urbanos, sin especificaciones para el tratamiento de los RCD. Así mismo, la tecnología para el procesamiento de los RCD es escasa y obsoleta, no existe sinergia entre las organizaciones, actores, procesos, actividades involucradas en el tratamiento de los RCD, la cultura y educación en esta temática es insuficiente, a la vez que se carece de programas de educación ambiental institucionalizados en el tema. Tampoco se realizan campañas de sensibilización sobre la necesidad de reciclar, ni se han generalizado las experiencias en cuanto a la producción del árido reciclado. No existe un enfoque integral en la gestión de estos residuos, lo que se presenta en la carencia de una visión sistémica, en la planificación, organización, ejecución y control en el manejo de los RCD para su utilización como materia prima

sustitutiva y complementaria, principalmente a escala local. En tal sentido no se reportan en la literatura consultada herramientas metodológicas (modelos y procedimientos) que ofrezcan respuestas a esta problemática.

Estos aspectos reflejan la **situación problemática** caracterizada por la ausencia de un modelo para la gestión integral de los RCD, fundamentado por el estudio del caso de la provincia de Villa Clara, que contribuya a la transformación de este tipo de residuo en un recurso que incremente la oferta de materiales de construcción.

En correspondencia con lo anterior se declara como objeto de la investigación la gestión de los RCD. Mientras que el campo investigativo lo constituyen las entidades generadoras y transformadoras de RCD de la provincia de Villa Clara.

De manera que el problema científico se formula del modo siguiente:

¿Cómo contribuir a la mejora en la gestión de los residuos de construcción y demolición en Cuba?

La hipótesis investigativa es la siguiente: si se diseña y valida un modelo para la gestión integral de los RCD, es posible contribuir a la mejora de la gestión de estos residuos en Cuba.

El objetivo general del trabajo es proponer un modelo para la gestión integral de los RCD en Cuba.

De aquí se derivan los siguientes objetivos específicos:

1. Sistematizar los fundamentos teórico-metodológicos relacionados con la gestión integral de los RCD.
2. Elaborar un modelo conceptual para la gestión integral de los RCD en Cuba.

3. Diseñar un procedimiento que operacionalice el modelo para la gestión integral de los RCD en Cuba.
4. Validar de forma teórico-práctica el modelo y su procedimiento para la gestión integral de los RCD en Cuba, a través del caso de estudio de la provincia de Villa Clara.

En el proceso investigativo se emplea como método general el dialéctico-materialista, así como diversos métodos teóricos y empíricos.

Teóricos:

Análisis-síntesis: se utiliza en la revisión crítica de la literatura consultada sobre el tema de los RCD y su gestión para definir la postura a seguir en la investigación en cuanto a las definiciones estudiadas.

Histórico-lógico: se aplica para propiciar los elementos generales relacionados con la evolución y el desarrollo de las categorías fundamentales de la gestión de los RCD.

Inductivo-deductivo: se emplea en la comprensión de los datos, su transformación en información y el análisis de los mismos, y es utilizado en toda la investigación.

Empíricos: los clúster o conglomerados jerárquicos se emplean en la revisión de la literatura sobre los modelos de gestión de los RCD, y la información se procesa a través del software estadístico SPSS p/w V. 22.0; la revisión de documentos: se lleva a cabo mediante el estudio de las principales normativas y legislaciones vigentes relacionadas con el tema de estudio, la consulta de documentos de los organismos y las entidades involucradas; la observación participativa se utiliza en la evaluación de los territorios y/o entidades del sector, para conocer cómo se realiza la gestión de los RCD; sociograma: para conocer las relaciones sociales

presentes en un momento determinado, entre un conjunto de actores, con vistas a transformar la situación; consulta a especialistas y trabajadores para conocer el estimado de RCD generados, así como las características de las entidades estudiadas; entrevista: se realiza a los trabajadores y directivos de los distintos organismos que interactúan en la gestión de los residuos, y en específico los RCD; taller: técnica utilizada para capacitar a los expertos; encuesta: se realiza a los expertos y en la aplicación de indicadores estadísticos derivados del método del criterio de expertos empleado en la validación del modelo y el procedimiento. Se realiza un estudio de caso para validar la propuesta del procedimiento.

La novedad científica consiste en que se establecen las relaciones internas y externas de los actores económicos que intervienen en la gestión de los RCD a través de un modelo sustentado en los criterios de sostenibilidad con enfoque de economía circular que se operacionaliza mediante un procedimiento.

De forma más específica los aportes de la investigación son los siguientes:

Teórico-metodológicos:

Se profundiza en el ciclo de aprovechamiento de los RCD incorporando las fases de generación, valorización y evaluación. En el nivel de ampliación del ciclo, en la estimación de la generación de los RCD se incluyen los tipos de residuos y su generación no solo por las empresas del sector de la construcción, sino también por los núcleos domiciliarios (domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios), y en la evaluación se realiza un estudio de impactos, usando la herramienta de análisis de ciclo de vida (ACV). Se propone un modelo de gestión integral de los RCD y un procedimiento para su operacionalización.

Económico-sociales:

Se aplica un diagnóstico en las empresas del sector de la construcción que permite detectar las principales limitaciones en la gestión de los RCD en el país y especialmente en la provincia de Villa Clara, así como las potencialidades para su aplicación. El procedimiento ofrece una alternativa ecológica y viable utilizada para incrementar la oferta de materiales a emplear en la construcción, conservación y rehabilitación de viviendas que se revierte en una mayor satisfacción de la población; contribuye a la sensibilización y toma de conciencia de los actores implicados en la gestión integral de los RCD, así como al incremento del número de empleos en torno a la actividad del reciclaje.

Medioambientales:

El procedimiento propuesto contribuye a la fundamentación de políticas públicas orientadas al reciclaje de los RCD, la utilización más racional del recurso no renovable: árido, a través de la reducción de su extracción en cantera con la consiguiente disminución de la contaminación ambiental, así como a atenuar los impactos asociados a la disposición final de estos residuos.

El informe de investigación se estructura en: introducción, tres capítulos, conclusiones y recomendaciones que se derivan del estudio, la bibliografía consultada y los anexos.

En el capítulo 1 se realiza una valoración crítica sobre los fundamentos teórico-metodológicos, que sustentan la gestión de los RCD. En el capítulo 2 se realiza un análisis crítico de la gestión de los RCD en Cuba, particularizando en la provincia de Villa Clara para caracterizar la gestión de estos residuos e identificar las potencialidades y limitaciones existentes en la provincia, que facilite la fundamentación de la propuesta de un modelo para la gestión integral de los RCD y su operacionalización a través de un procedimiento. En el capítulo 3 se valida el modelo para la gestión integral de los RCD por el método de expertos,

aplicación del procedimiento para el estudio de caso del taller de producción local de materiales de construcción de Manicaragua y validación de la pertinencia del procedimiento por el test de Kendall. Posteriormente se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación realizada, la bibliografía consultada y, finalmente, los anexos de necesaria inclusión, los cuales posibilitan la comprensión de los resultados expuestos.

Los resultados de la investigación permiten demostrar la viabilidad del aprovechamiento de este tipo de residuos mediante la reutilización y el reciclaje con el objetivo de convertirlos en materia prima a utilizar en la fabricación de una mayor cantidad de productos empleados en la construcción y el mantenimiento de viviendas; de esta manera se logra una mayor satisfacción de las necesidades de la población y se contribuye al ahorro de los recursos naturales. Por ello es recomendable que los decisores del sector de la construcción, el sector público, el sector privado y mixto comprendan la importancia económico-social y ambiental del tratamiento de los RCD, en aras de lograr la mayor racionalidad económica.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS
DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS
DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

En este capítulo se conceptualiza a los RCD y se describe su clasificación. Asimismo, se fundamenta la importancia de la gestión de este tipo de residuos para la producción del árido reciclado y se realiza una valoración crítica de los modelos definidos por diversos autores para la gestión de los RCD.

El tema de los RCD ha sido abordado en numerosas investigaciones (Cerqueira *et al.*, 2018, Sáez y Osmani, 2019, Hoang *et al.*, 2019, Hackenhaar *et al.*, 2019, Wu *et al.*, 2019) por su utilidad como producto sustitutivo y complementario ante el agotamiento de las canteras de áridos naturales, aliviándose así el problema ambiental que origina su eliminación. Dada su importancia se hace necesario conocer el tratamiento del término residuos.

1.1. Conceptualización de los RCD

El término residuos ha sido abordado indistintamente como producto defectuoso, desperdicio o desecho. Marx (1894) introduce la definición de residuos a partir de la clasificación que le da a los mismos como derivados de la producción y del consumo.

Bonmatí y Gabarell (2008) plantean que es en el siglo XX, y especialmente en su segunda mitad, una vez paliadas las deficiencias más acuciantes (abastecimiento de alimentos, suministro de agua potable, etc.), después del desarrollo y asentamiento social de las ideas ecológicas, que se logra dar una visión más completa, real e integral de los problemas del ecosistema humano, y es cuando los residuos surgen como un problema medioambiental de consideración.

Para Alvarez-Luna *et al.* (2017c) hasta los años 70 los residuos sólidos (RS) fueron conocidos indiscriminadamente como “basura”¹ pero desde la década de los ochenta se han expuesto argumentos técnicos para comprender que la denominación de residuos es mucho más apropiada que la de desperdicios, desechos o basuras. Autores tales como Unicef (2005)², García (2006), Navarro (2007), Colomina y Sánchez-Osuna (2007), Gutiérrez (2008) y Peña (2012) coinciden en que los residuos son resultantes del proceso de fabricación, construcción, transformación, utilización, consumo o limpieza cuando su propietario lo abandona y decide desprenderse de él.

Con respecto a los RCD, Pareja (2010) y Muñoz (2012) tienen en cuenta su fuente de generación al decir que son los que se generan en una obra de excavación, nueva construcción, reparación, remodelación, rehabilitación y demolición, incluyendo el de obra menor y reparación domiciliaria. Estos residuos suelen ser fundamentalmente de naturaleza inerte, y están constituidos básicamente por tierras y áridos mezclados, piedras, restos de hormigón, ladrillos, yesos, maderas, y en general, todos los desechos generados en las actividades propias de la construcción, reforma, demolición y mantenimiento de edificios o infraestructuras en general.

Otro grupo de autores alude al aprovechamiento de los residuos según normativas, es el caso de Ramírez (2010), Martínez *et al.* (2012) Márquez y Peláez (2015) quienes definen al residuo como el material o producto cuyo propietario o poseedor descarta, que se encuentra en estado sólido o semisólido, y puede ser susceptible de ser valorizado o requiere tratamiento

¹ Por basura se entiende los desechos últimos que no tienen la cualidad de ser recuperados, reutilizados o reciclados y cuya única opción es el tratamiento técnico para mitigar su impacto ambiental negativo al momento de ser dispuestos.

² Unicef: Fondo de Naciones Unidas para la Infancia.

o disposición final conforme a lo dispuesto por la ley y demás ordenamientos que de ella deriven.

Por su parte Lu y Yuan (2011) exponen que no existe consenso en la literatura especializada sobre la definición de los RCD; sin embargo, Aldana y Serpell (2012) realizan una discusión sobre los criterios dados por diferentes fuentes, con enfoques específicos:

- Residuos que surgen de las actividades de construcción, remodelación y demolición (Wang *et al.*, 2010, Kofoworola y Gheewala, 2009).
- Materiales excedentes derivados de excavaciones, construcciones civiles y edificios, trabajos en vías, actividades de remodelación y demolición (Yang *et al.*, 2007).
- Residuos de materiales de construcción, embalaje y escombros que resultan de las operaciones de construcción, remodelación, reparación y demolición de casas, edificios industriales y comerciales, y otras estructuras (Clark *et al.*, 2006).
- Diferencia entre los valores de las cantidades de materiales comprados y aceptados en la obra (McDonald y Smithers, 1998, Shen *et al.*, 2000, Polat y Ballard, 2004, Tam y Tam, 2006).
- Cualquier material, aparte de materiales de la tierra, los cuales necesitan ser transportados a otra parte desde los sitios de construcción o utilizados dentro del sitio de construcción para los propósitos de relleno, incineración, reciclaje, reutilización o compostaje (Ekanayake y Ofori, 2004).
- Residuos de construcción, remodelación, y reparación de residencias individuales, edificios comerciales, y otras estructuras de ingeniería civil (Huang *et al.*, 2002).

- Residuos generados de varias actividades de construcción incluidas excavación, construcción civil y de edificios, limpieza de sitios, actividades de demolición, trabajos en vías y renovación de edificios (Shen *et al.*, 2004).
- Residuos resultantes de la construcción, renovación y demolición de estructuras incluidas edificaciones de todo tipo (residencial y no residencial), proyectos de repavimentación de caminos, reparación de puentes, y limpieza asociada con desastres naturales y humanos (Zhao *et al.*, 2010, Lu *et al.*, 2006).
- Materiales no deseados generados durante la construcción, que incluyen estructuras y materiales rechazados, materiales que han sido sobreordenados o son excesos de los requeridos, y materiales que han sido utilizados y se han dañado (Deng *et al.*, 2008).
- Suelo, material y otros generados por cualquier clase de actividades de construcción, los cuales incluyen el desarrollo, rehabilitación y remodelación de proyectos de construcción (Zhao *et al.*, 2010).

En cuanto a las fuentes de generación Serrano y Acosta (2009), Glinka *et al.* (2006), González y Rodríguez (2014), García-Alonso *et al.* (2014) y Pérez (2016) coinciden en que los RCD son aquellos que se generan en el entorno urbano y no se encuentran dentro de los comúnmente conocidos como Residuos Sólidos Urbanos (RSU), ya que su composición es cuantitativa y cualitativamente distinta. Se trata de residuos básicamente inertes, constituidos por tierras, áridos mezclados, piedras, restos de hormigón, restos de pavimentos asfálticos, materiales refractarios, ladrillos, vidrios, plásticos, yesos, metales, maderas y, en general, todos los residuos que se producen por el movimiento de tierras, construcción de

edificaciones nuevas y obras de infraestructura, así como los generados por la demolición o reparación o rehabilitación de edificaciones antiguas y desastres naturales.

La autora coincide con esta última definición en cuanto a las fuentes de generación, puesto que tiene implícita todas las fuentes que generan estos residuos como son: los materiales excedentes derivados de excavación, construcción, reparación, remodelación, rehabilitación y desastres naturales.

A pesar de la diversidad de criterios encontrados en la literatura especializada, se considera acertada la definición propuesta por García (2006) referida a que son los residuos procedentes de los trabajos de construcción, reforma y demolición de estructuras y edificaciones, así como los desastres naturales y que su composición varía notablemente en función del tipo de obra de procedencia. Sin embargo, no se coincide con los autores que plantean que los RCD no se encuentran dentro de los RSU.

1.1.1. Clasificación de los RCD

La clasificación de los RCD facilita conocer el origen, el tipo de residuos y tratamiento a realizar en el proceso de reciclado. La figura 1 muestra un resumen de las clasificaciones propuestas por Glinka *et al.* (2006), Moure-Santamarina y Vázquez-Pelarigo (2008), (Colomina y Sánchez-Osuna, 2007), Mercante *et al.* (2011), Martínez *et al.* (2012), Mena (2014) y (Rodríguez *et al.*, 2013), según su fuente de generación, su nivel de peligrosidad y sus características.

De acuerdo con su fuente de generación se pueden clasificar en:

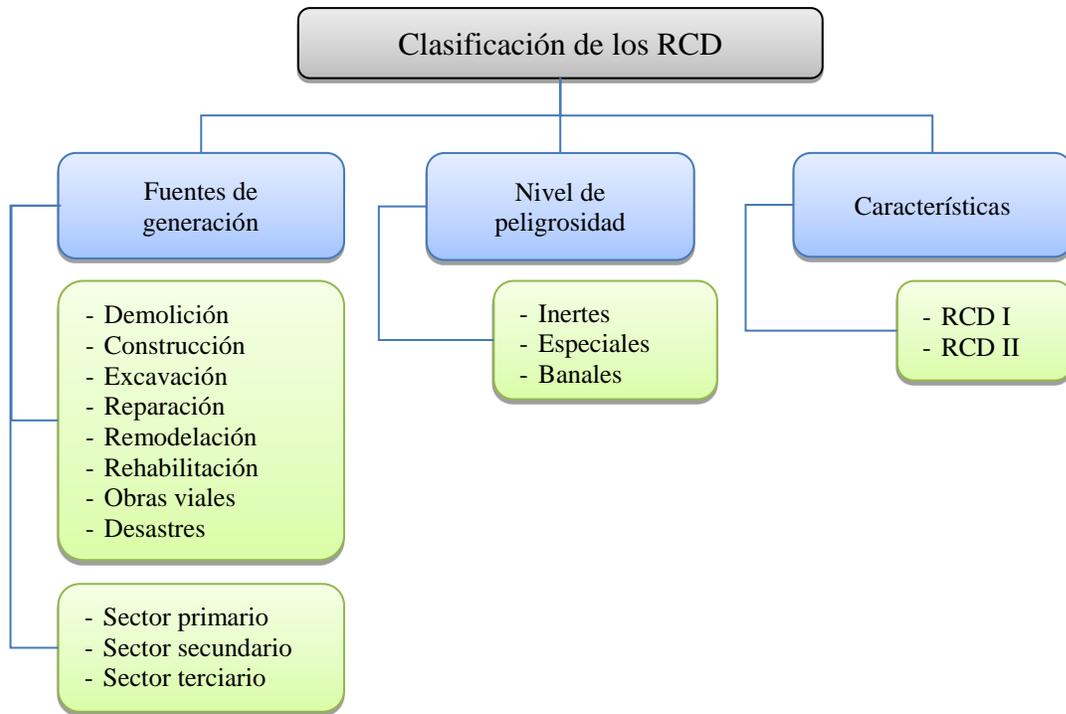


Figura 1. Clasificación de los RCD.
Fuente: elaboración propia

Material de excavación: este es normalmente un residuo inerte, y en general de naturaleza pétreo. En algunos casos se presenta con contaminantes. Algunos componentes son las tierras y rocas de excavación y los excedentes de materiales granulares.

Residuos resultantes de construcción nueva, de ampliación o reparación (obra menor): son los que se originan en el proceso de ejecución material de los trabajos de construcción. Se generan durante la propia acción de construir y de embalaje de los materiales. Sus características y cantidad son variadas y dependen de la fase del trabajo y del tipo de obra.

Residuos de obras viales: compuestos por fragmentos de losas de hormigón de la demolición y construcción de caminos, residuos de asfalto y mezclas del pavimento asfáltico, residuos de renovación de puentes, entre otros, y residuos de desastres que son aquellos generados por la acción de desastres naturales.

En función de su nivel de peligrosidad los residuos inertes son aquellos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas; los especiales son potencialmente peligrosos para la salud y el medioambiente, debido a su composición y propiedades, y los banales presentan una naturaleza similar a los residuos domésticos.

Por sus características pueden ser determinados en dos niveles. En el I se encuentran las tierras y materiales pétreos, no contaminados, procedentes de obras de excavación. Mena (2014) plantea que en el Real Decreto³ 105/2008 (artículo 3.1.a), se señala como excepción de ser consideradas como residuos: las tierras y piedras no contaminadas por sustancias peligrosas, reutilizadas en la misma obra, en una obra distinta o en una actividad de restauración, acondicionamiento o relleno, siempre y cuando pueda acreditarse de forma fehaciente su destino a reutilización. En el II se hallan los residuos generados principalmente en las actividades propias del sector de la construcción, de la demolición, de la reparación domiciliaria y de la implantación de servicios.

En Cuba es frecuente incluir los RCD dentro de los RSU (Colomina y Sánchez-Osuna, 2007) y (Rodríguez *et al.*, 2013), sin embargo, Alvarez-Luna y Castillo (2018) consideran que una clasificación de la fuente de generación por sectores es más acertado en las condiciones cubanas, ya que permite un análisis más integral a los efectos de su gestión. La clasificación por sectores es en el primario: agrícolas, ganaderos y forestales, en el secundario en industriales (incluye a los RCD) y radioactivos, y en el terciario los RSU también incluyen a los RCD, pero de los núcleos domiciliarios y los sanitarios.

³ Documento oficial del Ministerio de la Presidencia de España que regula la producción y gestión de los RCD y constituye un documento referente en el establecimiento de normativas cubanas.

1.1.2. RCD y desarrollo sostenible

Desde 1987 la Organización de Naciones Unidas (ONU) inicia un movimiento para tratar el problema ambiental y da a conocer el Informe Brundtland donde queda definido el Desarrollo Sostenible como: satisfacer las necesidades presentes, sin impedir la satisfacción de las futuras generaciones (Gómez-Baggethun, 2018). Luego en la Cumbre de la Tierra, realizada en Río de Janeiro, Brasil, en el año 1992, se impulsa el paradigma del desarrollo sostenible que incorpora tres dimensiones: ambiental, económica y social, pues este supone que se deban satisfacer las necesidades del hombre, integrando las preocupaciones ambientales en los modelos de producción y consumo con el fin de atenuar el uso de los recursos naturales. En esta cumbre se define la Agenda 21⁴ donde, en relación con la gestión ecológicamente racional de los desechos sólidos, se definen cuatro áreas principales:

- La reducción al mínimo de los residuos.
- El aumento al máximo de la reutilización y el reciclado ecológicamente racional de los residuos.
- La promoción para la eliminación y la disposición ecológicamente racional de los residuos.
- La ampliación del alcance de los servicios que se ocupan de la gerencia de los residuos.

En el actual contexto mundial se priorizan las acciones que armonicen con el desarrollo sostenible, como objetivo fundamental de cualquier estrategia de manejo de residuos, las que

⁴ Este programa donde Cuba es signatario, se aprueba en la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (UNCED), que tuvo lugar en Río de Janeiro, Brasil, entre el 3 y el 14 de junio de 1992.

se basan en la maximización del aprovechamiento de los recursos y la prevención o reducción de los impactos adversos al ambiente, que pudieran derivar de dicho manejo. Está claro que es difícil minimizar costos e impactos ambientales simultáneamente; por lo tanto, siempre habrá que hacer juicios de valor para reducir los impactos ambientales globales del sistema de manejo de residuos, tanto como sea posible (Molina, 2018).

Este equilibrio no solo se logra con la recolección organizada de estos, sino con programas que se basen además en su reutilización y/o reciclaje para la obtención de áridos ecológicos que reemplacen los agregados naturales no renovables. Para que esto ocurra se deben hacer cambios capaces de concebir alternativas de soluciones a mediano y largo plazos que rompan con el paradigma de la economía lineal y adopten el enfoque de economía circular (Martínez y Porcelli, 2018).

En tal sentido la prolongación de la vida útil de las edificaciones es una cuestión importante en términos de la prevención de los residuos, ya que el hecho de retrasar la conversión de estos constituye en sí un acto de reducción de impactos desfavorables al ambiente. Íntimamente relacionado con el aumento de la vida útil de las edificaciones se encuentra el concepto de “obsolescencia programada”. Slade (2012) lo define como un conjunto de técnicas aplicadas para reducir artificialmente la durabilidad de un bien manufacturado con el fin de estimular el consumo repetitivo.

Neves y Gonzaga (2013), Miragem (2013), Fernández Rey (2014) y Seguí *et al.* (2018) coinciden en que la obsolescencia programada es una práctica planificada que reduce la vida útil de un producto, lo cual se convierte en un factor determinante en la generación de residuos.

De forma general, una edificación tiene una vida útil igual o mayor a 50 años para las infraestructuras, con excepción de determinadas instalaciones; sin embargo, pasa como en otros sectores basados en los bienes de consumo, en que es necesario aplicar los principios del ecodiseño a la construcción. Estos principios se deben aplicar en obras nuevas y en la rehabilitación, este último de mayor complejidad debido a que el proceso de planificación y diseño parte de una situación existente, que puede llegar a estar muy deteriorada o alejada del resultado que se persigue.

Los principios del ecodiseño para promover las construcciones según Masseck (2018) son: alta durabilidad y calidad, que facilite su mantenimiento, que sea reparable, que permita su rehabilitación; la flexibilidad de uso: que permita su reconversión en otra tipología o distinto uso; que sea deconstruible: su diseño debe permitir una demolición selectiva para una mayor reutilización y reciclado de sus componentes; resilientes (cambios de uso, cambio climático, otros riesgos que se identifiquen de forma específica en el contexto), alto rendimiento (intensidad de uso, no espacios vacíos no justificados), alto confort, y bajo consumo.

Los retos fundamentales para favorecer la adopción de este tipo de criterios son la aplicación del análisis de ciclo de vida (ACV), la aplicación de innovaciones, herramientas a los procesos de diseño, y la incorporación de criterios de economía circular en la legislación del sector constructivo en detrimento del paradigma de la economía lineal.

El clásico esquema lineal, según el cual se desarrollan etapas sucesivas de extracción, procesamiento, utilización y eliminación de productos y materiales, no es sostenible de modo indefinido, con el agravante de que, durante el proceso, se originan residuos y subproductos susceptibles de ser retornados al circuito productivo o al ciclo natural, pero que, en cambio, son despreciados y destinados a su eliminación por incineración, destrucción o depósito en

vertederos. Esta situación conduce a la necesidad de identificar prioridades para consolidar una economía más competitiva, responsable y sostenible, orientada en función de un marco en el que la innovación resulta esencial para el progreso y para garantizar el bienestar de la humanidad (Canu, 2017).

Ante las limitaciones que impone un sistema productivo lineal las actuales circunstancias exigen que se tome en consideración el modelo de economía circular que se define según Marcet *et al.* (2018) como un nuevo modelo económico que busca mantener los materiales, los productos y sus componentes en procesos circulares, mediante los cuales pueden ser reintegrados en la cadena de valor una vez terminada su vida útil. Ver figura 2.

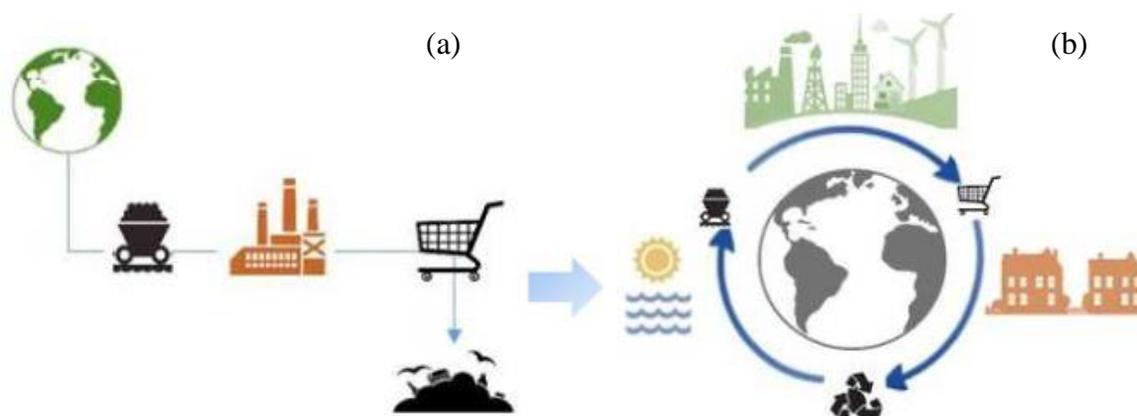


Figura 2. Modelos de Economía, (a) Lineal, (b) Circular.
Fuente: (Sandoval *et al.*, 2017)

Al respecto Canu (2017) plantea que la economía circular es aquella que es restaurativa y regenerativa a propósito, la que trata que productos, componentes y materias mantengan su utilidad y su valor máximo en todo momento, conciliando los ciclos técnicos con los principios de equilibrio y resiliencia característicos de los ciclos biológicos. Este nuevo modelo económico trata en definitiva de desvincular el desarrollo económico global del consumo de recursos finitos. El concepto de circularidad aborda los crecientes desafíos

relacionados con los recursos a los que se enfrentan los ciudadanos, las empresas y los gobiernos, y pretende por esta vía generar crecimiento, crear empleo y reducir los efectos ambientales negativos, incluidas las emisiones de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático.

De ahí que la gestión de los RCD con un enfoque de economía circular contribuya a fomentar sistemas de construcción sostenibles que impacten, fundamentalmente, en la reducción de estos residuos y la contaminación con la consiguiente disminución de gastos, elevación de la calidad de vida y mejora en la utilización del agua.

1.2. La gestión de los RCD para la producción de los áridos reciclados

En la literatura se reportan diferentes etapas en el desarrollo del pensamiento administrativo, representadas por varias escuelas de administración con diferentes enfoques (Stoner *et al.*, 1995) y (Koontz *et al.*, 2012). Muy vinculado al término de la administración desde la segunda mitad del siglo XX, se comienza a introducir el término de gestión (Drucker, 1996), sin que se haya alcanzado consenso alrededor de cuál término es el más adecuado para referirse a la administración en las organizaciones.

Según la ISO 9000: 2015, la gestión no es más que el conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización (Hoyle, 2017), a partir de esta haber definido los objetivos a alcanzar.

Existe una extensa discusión referida a acepciones relacionadas con la gestión entre las que destaca (Espasa-Calpe, 2008) quien la presenta indistintamente, como “un conjunto de reglas y métodos para llevar a cabo con la mayor eficacia un negocio o actividad empresarial”

o como una “función institucional global e integradora de todas las fuerzas que conforman una organización”. Mora (1999) plantea dos niveles de gestión: uno lineal o tradicional, sinónimo de administración, según el cual gestión es “el conjunto de diligencias que se realizan para desarrollar un proceso o para lograr un producto determinado” y otro que se asume como dirección, como conducción de actividades, a fin de generar procesos de cambio.

La gestión implica un fuerte compromiso de los sujetos con la actividad que se ejecuta y también con los valores y principios de eficacia y eficiencia de las acciones ejecutadas. Encalada y Chávez (2011) plantean que es un “conjunto de acciones que permiten interrelacionar cada uno de los elementos con el fin de dirigir las organizaciones”. También, es definida como “el conjunto de actividades de dirección y administración de una empresa”.

En la presente investigación se asume la gestión como el conjunto de procesos y acciones que se ejecutan sobre uno o más recursos para el cumplimiento de los fines de una organización, a través de un ciclo sistémico y continuo, determinado por las funciones básicas de planificación, organización, dirección o mando y control.

La gestión desde una perspectiva integral busca la conservación de los recursos naturales renovables y no renovables, la disminución de la contaminación del ambiente, evitar la degradación de los ecosistemas, economizar energía, abaratar los costos generados por la prestación de los demás servicios involucrados en los elementos funcionales del sistema, generar nuevas fuentes de empleo mejorando la calidad de vida y traer beneficios en el desarrollo político, social, ambiental, económico y tecnológico (ANRBV, 2010). Además, según Tchobanoglous *et al.* (1994) puede ser definida como la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión idóneos para lograr metas y objetivos

específicos, aunque algunos autores, como por ejemplo Rubio (2011), consideran que del manejo integral y sustentable de los residuos se derivan beneficios ambientales, optimización económica y aceptación social en un sistema de manejo práctico para cualquier región.

Para Willborn y Karapetrovic (1998) un sistema integrado de gestión es un conjunto de procesos interconectados que comparten los mismos recursos (humanos, materiales, infraestructura, información, y recursos financieros) para lograr los objetivos relacionados con la satisfacción de una amplia variedad de grupos de interés.

Pojasek (2006) asume que un sistema integrado de gestión es el que combina sistemas de gestión usando un enfoque orientado al empleado, una visión basada en los procesos, y un enfoque de sistemas, que hace posible poner todas las prácticas de gestión normalizadas que se correspondan con un solo sistema.

Particularizando en el manejo integral de los residuos sólidos Navarro (2007) lo considera como la disciplina asociada al control de la generación, separación, almacenamiento, aprovechamiento, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos de tal forma que armoniza con las dimensiones del desarrollo sostenible.

Por otro lado, Bernardo *et al.* (2009) abordan la integración como un proceso de vinculación de diferentes sistemas de gestión normalizados dentro de un único sistema de gestión con recursos comunes en apoyo a la mejora de la satisfacción de los grupos de interés. Este autor supera al anterior en el concepto dado, al utilizar las normativas de los sistemas de gestión, pero no tiene en cuenta los recursos naturales renovables y no renovables, ni los impactos ambientales, técnicos, económicos y sociales.

Por su parte, Fraguela-Formoso *et al.* (2011) plantean que un sistema de gestión integral debe funcionar como un único sistema, un solo equipo que va hacia el mismo objetivo organizacional, un mismo propósito.

El Ministerio de Medioambiente de Colombia enfoca la gestión integral de residuos de construcción y demolición desde otro punto de vista: como el conjunto de actividades dirigidas a dar a los residuos el destino más adecuado de acuerdo con sus características. Incluye actividades de recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento, transformación, disposición final o cualquier otra operación requerida, con el fin de prevenir daños o riesgos para la salud humana o el ambiente (Minambiente, 2017).

La gestión integral de los RCD se define de diversas maneras, ya sea como sistema de gestión integral, como manejo integral o gestión integral. Se asume el último enfoque teniendo en cuenta las limitaciones de los autores anteriores.

A partir de las definiciones de Navarro (2007) y Minambiente (2017), la autora asume que la gestión integral de los RCD es el conjunto de etapas dirigidas a dar a los residuos el destino más adecuado de acuerdo con sus características. Incluye procesos desde la generación, como la recolección, transporte, almacenamiento y tratamiento; desde la valorización, como el aprovechamiento, transformación, disposición final o cualquier otra operación requerida, y desde la evaluación con la determinación de impactos, en armonía con las dimensiones del desarrollo sostenible.

Autores como Mercante (2007), Navarro (2007), Esguícero *et al.* (2009), Bedoya (2011), Minambiente (2017), Mejía *et al.* (2017) y Tirado (2018), entre otros, definen los procesos a seguir en la gestión de los RCD; sin embargo, no coinciden en la forma y orden en que los reportan. La figura 3 muestra de manera general el ciclo óptimo de la gestión de los RCD

propuesto por Pérez-Águila *et al.* (2016), el cual se considera más completo de los reportados en la literatura especializada.

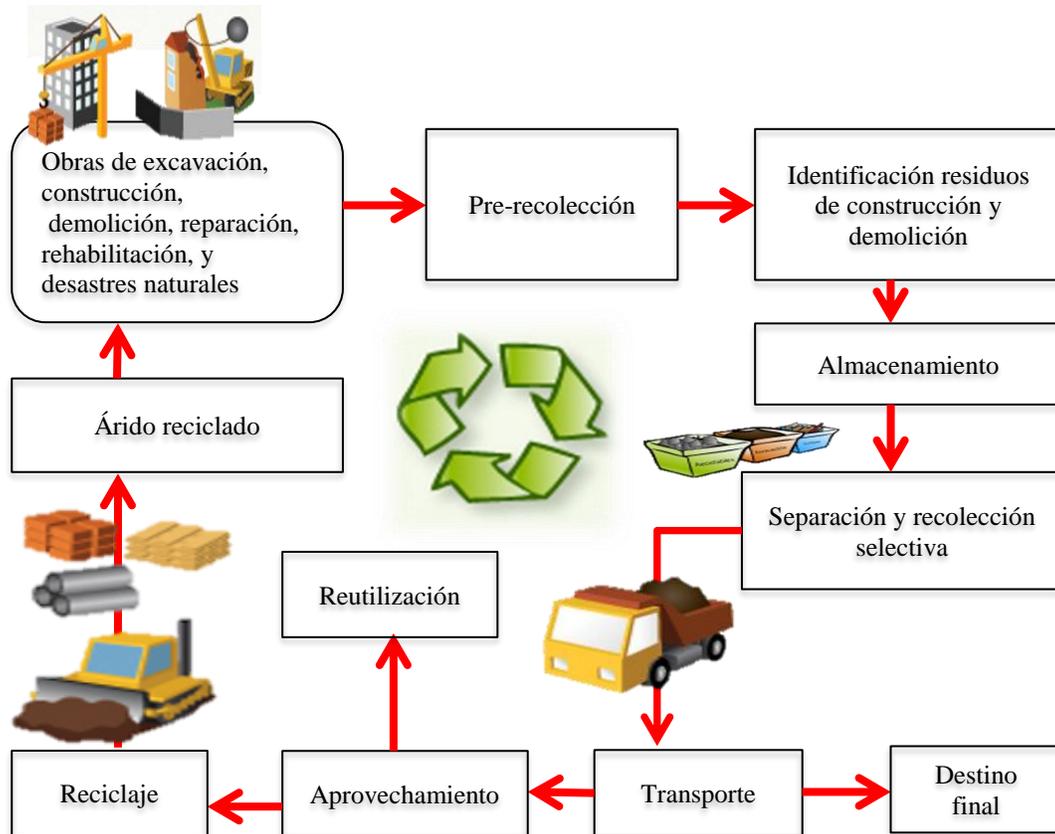


Figura 3. Ciclo óptimo de la gestión de los RCD.
Fuente: elaboración propia a partir de (Pérez-Águila *et al.*, 2016)

Luego que los RCD son generados por las diversas fuentes, se llevan a cabo los siguientes procesos:

Pre-recolección: comienza con la determinación de los lugares donde se realizan actividades capaces de generar residuos. Luego se identifica el material (RCD), su cantidad, condiciones, usos, destinos, otros; y todo lo referente a sus características y composiciones. De esta manera se determinan cuáles son las fracciones valorizables en el proceso.

Almacenamiento: es el lugar donde se acopian o guardan los residuos teniendo en cuenta la composición anteriormente determinada.

Separación y recolección selectiva: este proceso puede resultar el más costoso y complejo de todas las operaciones a realizar en el manejo integral y sostenible de residuos; pues aquí se realiza el acarreo del resto de las partes de los escombros, demoliciones, sedimentos y otros. Al final del proceso se determina cuáles se podrán reutilizar, reciclar o llevar a sitios de acopio legales para su correspondiente disposición final. Es esencial para el buen funcionamiento de las actividades siguientes, ya que aquí quedan delimitadas las fracciones (Tirado, 2018):

1. Hormigón.
2. Ladrillos, tejas y cerámicos.
3. Metal.
4. Otros (madera, plásticos, yeso, papel y cartón, etc.).

De la precisión con que se realice esta actividad dependerá la mayor eficiencia de la gestión y la calidad del producto obtenido.

Transporte: el transporte sirve para acarrear los residuos desde su ruta de recolección asignada hasta los lugares de transferencia —cuando se requiera el transbordo—; para recuperación y procesamiento —al aplicarle las técnicas de la reutilización y/o reciclaje—; o directo a su tratamiento y/o disposición final —cuando son descartados—.

Aprovechamiento: incluye las actividades encaminadas a la transformación, valoración o eliminación de los materiales contenidos en los residuos a través de la reutilización y el

reciclaje; considera, además, que no todos los RCD pueden ser valorizados y su destino es la disposición final.

Al respecto Mercante (2007) plantea que la gestión es el manejo y control de los RCD en las distintas etapas por las cuales debe pasar el flujo de los residuos: generación, recogida, transporte, tratamiento y disposición final. Para que las alternativas de acción logren una eficaz gestión, se debe definir la jerarquía de prioridades que ordene de modo decreciente el interés de estas desde la reducción, reutilización, reciclaje, hasta la recuperación de energía y canteras, y por último el vertido (figura 4).

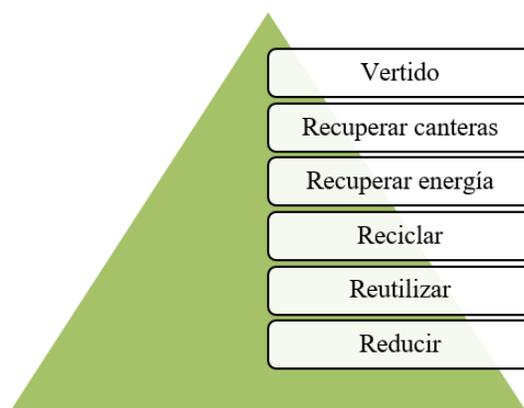


Figura 4. Jerarquización de acciones para la gestión de los RCD
Fuente: (Mercante, 2007)

Reducir: es una acción de prevención que trae aparejadas como ventajas principales la disminución de los gastos de gestión y el ahorro en materia prima, por lo que el balance medioambiental global es beneficioso. Existen ventajas adicionales como la reducción del consumo de energía por transporte, menores costos por disposición final (cuando se paga una tasa de vertido), se generan menos impactos ambientales ocasionados por el transporte y la gestión en general. El vertido sigue siendo, en la mayoría de los países, el principal método para deshacerse de los residuos. Los vertederos controlados son caros y tienen un impacto

ambiental importante. En consecuencia, el primer paso para reducirlos consiste en generar menos residuos.

Reutilizar: es una actividad que involucra la reaplicación de un material de modo que mantiene su forma e identidad original, es decir, la recuperación de elementos constructivos completos y el reúso con las mínimas transformaciones posibles. Por lo tanto, también conduce a la reducción de los residuos. La reutilización entraña ventajas medioambientales y económicas. Los elementos constructivos que pueden ser regenerados o reutilizados directamente, tienen un valor económico más alto que ser considerados como simples residuos. Algunos ejemplos de este tipo de residuos son los encofrados de madera o metálicos, andamios, o sistemas de protección y seguridad. Los embalajes y envases pueden reutilizarse, en especial los grandes contenedores y silos, los cuales pueden recargarse tantas veces como sea necesario, y los pallets que a veces necesitan ser reparados para nuevos usos.

Reciclar: es la operación que incorpora los residuos en un proceso en el que el material residual requerirá ser tratado para modificar algunas propiedades físicas, y luego sometido a un proceso de elaboración junto con otros insumos.

Recuperar energía de los residuos: implica valorizar energéticamente el residuo. El objetivo es eliminar la toxicidad del residuo y a la vez recuperar el calor contenido en él.

Recuperar canteras: se relaciona con la restauración de áreas, lo cual puede definirse como un conjunto de actuaciones encaminadas a restituir un espacio degradado a su estado original o a proceder a su integración ambiental y paisajística.

Vertido: después de agotar las alternativas descritas los residuos sobrantes deben ir a un vertedero controlado.

Navarro (2007) coincide con Mercante (2007) en las etapas generales del ciclo óptimo de la gestión y en la jerarquía de prioridades que se debe tener en cuenta para lograr acciones que conlleven a una gestión eficaz.

Diversos autores como Mercante (2007), Navarro (2007), Esguícero *et al.* (2009), Minambiente (2017), Mejía *et al.* (2017) y Tirado (2018) coinciden en que el transporte y vertido de los residuos tiene un costo mayor que su reutilización o reciclaje, principalmente en el componente ambiental.

El producto que se obtiene de la trituración de los RCD se denomina árido reciclado (AR) y se incorpora al proceso productivo de los materiales de construcción. Alaejos-Gutiérrez (2005) considera que el árido reciclado es el que se obtiene mediante el procesamiento de residuos de construcción y demolición, y que, en función del origen, los AR se pueden clasificar en AR procedentes de hormigón, AR cerámicos o AR mixtos cuando proceden de una mezcla de residuos de distinta naturaleza. A la vez que Muñoz (2012) define por AR aquellos residuos que son de naturaleza fundamentalmente inerte, que proceden del reciclaje de los RCD.

Pérez-Benedicto *et al.* (2010) confirman que los AR son el resultado de la gestión y tratamiento de los residuos de construcción y demolición, lo que coincide con Alaejos-Gutiérrez (2005). Páramo (2011) define al AR como el árido resultante del procesamiento de materiales inorgánicos, utilizado previamente como material de construcción. La materia prima para su obtención son los materiales pétreos generados como residuos durante los procesos de construcción y demolición.

Las normas europeas armonizadas establecidas por el Comité Europeo de Normalización (CEN) definen los AR como: los áridos resultantes del tratamiento de material inorgánico previamente utilizados en construcción (Barra *et al.*, 2011, Gayarre, 2008).

Clasificación y aplicaciones de los áridos reciclados

La figura 5 resume la clasificación y aplicaciones de los áridos reciclados propuestas por autores tales como Sánchez y Alaejos (2003), Tertre (2007), Muñoz (2012), Barra *et al.* (2013).

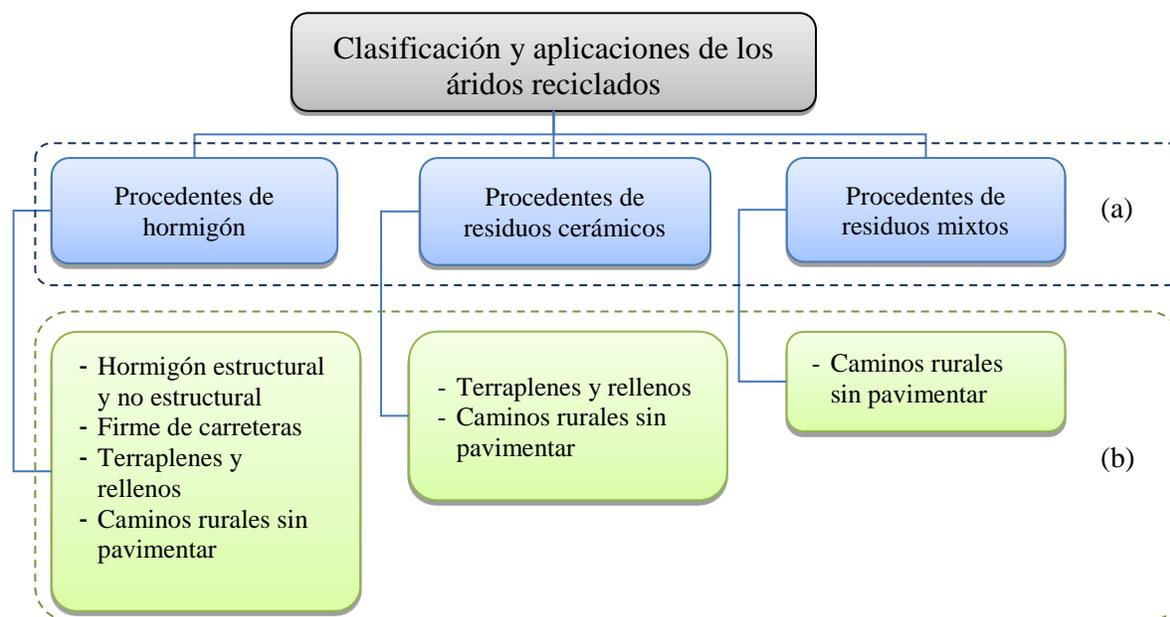


Figura 5. (a) clasificación y (b) aplicaciones de los áridos según el origen de los residuos. Fuente: elaboración propia

El nivel de exigencia más restrictivo que se le impone al árido reciclado es para su uso en la fabricación de hormigón estructural; en este caso la procedencia se limita únicamente a escombros de hormigón, por ser estos los más limpios, homogéneos y por consiguiente de mejor calidad (Calderón, 2014).

Llanez (2012) y Benlloch (2014) definen de una manera más amplia los AR, debido a que no solo los consideran como el material granular resultante del tratamiento de materiales inorgánicos, utilizados previamente en la construcción, que se obtiene de la parte pétreo de estos residuos, sino que lo asumen además como un resultado de la gestión de los RCD.

Su uso está condicionado por el cumplimiento de las especificaciones técnicas, al analizarlos en el laboratorio luego de someterlos a un proceso de reducción de tamaño y cribado⁵ para su posterior aplicación dentro del sector de la construcción y de la obra civil (Fernández y Alvarez-Luna, 2019).

En resumen, según las definiciones anteriores puede conceptualizarse como árido reciclado aquel material resultante de la gestión y tratamiento de residuos procedentes de obras de la construcción, que luego de ser sometido a diferentes procesos cumple con las especificaciones técnicas para su posterior aplicación dentro del sector de la construcción.

Los residuos de construcción y demolición, convenientemente tratados en una instalación de reciclaje, se convierten en áridos reciclados que pueden ser utilizados como materias primas en la construcción civil y en obras públicas y privadas al cumplir todos los requisitos necesarios. Los áridos reciclados pueden ser usados en una amplia gama de aplicaciones, como plantean Gutiérrez (2008), Barra *et al.* (2011) y Barra *et al.* (2013).

Según Gutiérrez (2008) y Muñoz (2012) los AR procedentes de residuos de hormigón pueden sustituir sin problema a los áridos naturales debido a su homogeneidad, y a la ausencia de armaduras y otros contaminantes. Sin embargo, los procedentes de residuos cerámicos y los mixtos poseen mayores restricciones debido a su composición. Muchas normas de la

⁵ Acción y efecto de cribar (tamizado).

construcción no permiten el uso de estos dos últimos tipos en hormigón estructural. Otras, como la holandesa, permiten el uso de árido reciclado cerámico en hormigones no estructurales (Brito *et al.*, 2019). Este tipo de árido puede compararse con el árido ligero. Su empleo aumenta el contenido de aire y obliga también a una relación agua/cemento (*a/c*) mayor (Lima *et al.*, 2017). Adicionalmente, la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad del hormigón pueden verse afectados muy negativamente (Nili *et al.*, 2019).

La utilización de los áridos reciclados es cada vez más habitual y variada en el sector de la construcción (Tam *et al.*, 2018), no obstante su uso dependerá de su naturaleza y composición mayoritaria.

Los áridos reciclados poseen diversas aplicaciones, entre las que se destaca su uso en capas de sub-base o base de carreteras, lo que se ha hecho una práctica habitual en países como Francia, Reino Unido, Países Bajos, Alemania, Austria, Suiza y Dinamarca. La tabla 1 muestra algunas de las aplicaciones reales de estos áridos.

Cada una de estas aplicaciones obliga a fijar distintos niveles de exigencias en las propiedades del árido reciclado.

Tabla 1. Experiencias internacionales en el empleo del árido reciclado

Países	Principales obras
Países Bajos	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción de los estribos de un viaducto en la carretera RW 32 cerca de Meppel (1988). - En 1990 se construyó un segundo viaducto en esa misma zona. - En las obras de la compuerta del puerto en las proximidades de Schijndel (1992). - Entre 1997 y 1998 se construyeron 272 casas unifamiliares empleando un 100 % de árido reciclado.
Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> - En el año 1995 se realizó la construcción de un bloque de oficinas en Watford. - Construcción de la losa de la segunda planta de un edificio de la ciudad de Cardington (1996).
Bélgica	<ul style="list-style-type: none"> - Para la ampliación del puerto de Antwerp, se procedió en 1987 a la demolición de varios muros del puerto y la construcción de una compuerta mayor.
Alemania	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción de grandes bloques de hormigón como elementos decorativos en el Centro de Exposiciones de Magdeburg (1999). - De 1993 a 1994 se construyó la sede de la Fundación Alemana para el Medioambiente (<i>Deutsche Bundesstiftung Umwelt</i>). - De 1996 a 1997, se desmanteló una zona militar a las afueras de Itzehoe y los escombros generados se reutilizaron para la construcción de esa misma zona.
Japón	<ul style="list-style-type: none"> - Los áridos reciclados se emplean como material para la fabricación de bloques de hormigón prefabricados.
China	<ul style="list-style-type: none"> - El Viaducto de Lai Chi Kok (LCKV). Hong Kong es parte de la nueva Route 8 que unió el aeropuerto internacional de Chep Lap Kok con la zona de Shatin.
Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> - En la ampliación de 7 000 carreteras en Wyoming por la Asociación Federal de Carreteras en 1985
España	<ul style="list-style-type: none"> - Terraplén construido en el acceso del campo de golf de Guadabajaque (Cádiz), una explanada del Muelle del Prat en el Puerto de Barcelona (CEDEX, 2010)
México	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción de viviendas en el Estado de Quintana Roo.

Fuente: elaboración propia a partir de (Gutiérrez, 2008), (Muñoz, 2012), (Alvarez-Monzón, 2013) y (Tirado, 2018).

En Cuba también existen experiencias, aunque no sistematizadas, en cuanto a la utilización de los áridos reciclados (Cabello-Rodríguez, 2016) y (Pérez-Águila *et al.*, 2016). Ejemplo de ello lo constituye la estrategia en el uso de los RCD para diferentes fines desarrollada por la Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana. A partir del proyecto de colaboración con la Agencia Vasca de Cooperación para el Desarrollo TECNALIA, se fundó una planta de reciclaje de RCD para la producción de árido reciclado con el propósito de rehabilitar el fondo habitacional de La Habana Vieja. Algunas de las aplicaciones de esta materia prima se

ponen de manifiesto en la producción de bloques de hormigón, morteros, bordillos y mosaicos, la rehabilitación de fachadas, el uso como mortero de albañilería y material de relleno en distintos lugares. Las obras constructivas terminadas se encuentran ubicadas en la calle Amargura # 56, Muralla # 408 y Sarrá # 19, también en el Café Habana, Parque del Cristo, Palacio del Segundo. Cabo, y las redes eléctricas soterradas.

1.3. Valoración crítica de los modelos de gestión de los RCD

Es imprescindible contar con un modelo que permita realizar la gestión integral de los RCD, para la producción de árido reciclado, como alternativa para atenuar la situación existente con los recursos no renovables. Diferentes científicos coinciden con Pineda *et al.* (2016) en la definición del término modelo como una representación simplificada de la realidad, que se elabora para facilitar su comprensión y estudio, y permite ver de forma clara y sencilla las distintas variables y sus relaciones. Estos resultan muy útiles en investigación, y su elaboración implica varios aspectos opuestos: deben presentar la realidad lo más fielmente posible y deben ser más sencillos y manejables que las situaciones reales.

Para operacionalizar un modelo se utilizan procedimientos, los cuales (Alvarez-Luna *et al.*, 2017c), los definen como la secuencia de los pasos a seguir para la consecución de un fin determinado, estos pasos deben ser claros y bien definidos para trabajar correctamente en la ejecución de actividades futuras y, por último, los procedimientos describen detalladamente cada una de las acciones a seguir en un proceso o etapa. Los modelos y procedimientos se relacionan entre sí, ya que los primeros tienen implícitos a los segundos, los cuales exponen de forma clara los pasos a seguir en cada fase del modelo.

Existen diversos modelos, sistemas, planes, guías de gestión de los RCD, en los que los autores presentan un conjunto de etapas. Se utiliza el método de análisis de conglomerados jerárquicos a través del paquete de programas estadístico SPSS para Windows (V22.0, 2013), con el fin de conocer las etapas de gestión comúnmente utilizadas por los autores estudiados, concentrándolos en tres grupos (ver anexos 1, 2 y 3).

En la figura 6 se presenta la estructura porcentual de las etapas consideradas en el estudio por grupos de autores.

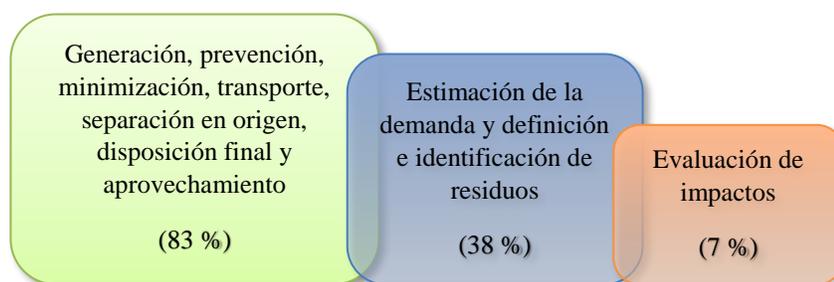


Figura 6. Estructura porcentual de las etapas por grupos de autores.
Fuente: elaboración propia

Como se observa, el grupo I constituye el más representativo (83 %), lo que indica que autores tales como Peñuñuri y Velasco (2008.), Karunasena *et al.* (2010), Acosta-Reyes (2010), Rubio (2011), Bedoya (2011), Morán *et al.* (2011), Gutiérrez *et al.* (2014) y Pineda *et al.* (2016), entre otros, le dan más importancia a las etapas que comprenden desde la generación hasta el aprovechamiento. Esto demuestra que la mayoría de los estudios ponderan el diseño de los flujos y los aspectos técnicos relacionados con ellos.

El resultado del grupo II (38 %) refleja que Karunasena *et al.* (2010), UICN (2011) y Pineda *et al.* (2016) coinciden en considerar dos etapas más: la estimación de la demanda y la identificación de los RCD. Dichas etapas son fundamentales para incorporar estos residuos en el proceso de planificación de la producción en entidades transformadoras y generadoras,

como recursos productivos primarios en la producción de árido reciclado para la fabricación de materiales de construcción.

Por último, en el grupo III (7 %) Pineda *et al.* (2016) analizan la evaluación de impactos económicos, sociales y ambientales de aprovechar los RCD para la producción de materiales de construcción. La importancia de esta etapa radica en fundamentar los procesos de toma de decisión en relación con el reciclaje de los RCD, y demostrar que la viabilidad del reciclaje de los RCD contribuye a la concientización de los actores implicados en la gestión de la importancia de esta alternativa como premisa del desarrollo sostenible.

Estos grupos incluyen las etapas: generación, prevención o minimización de los residuos, transporte (o almacenamiento) de los recursos, separación en origen y recogida selectiva, disposición final, aprovechamiento de los RCD (reciclar y reutilizar), estimación de la demanda y definición e identificación de los residuos, así como la evaluación de impactos; lo que significa que el modelo a seguir debe integrar en sus etapas estos elementos.

Estos modelos poseen regularidades que se resumen en:

- ✓ Tienen en cuenta las normativas establecidas.
- ✓ Tienen en cuenta indistintamente en sus etapas la minimización de los residuos.
- ✓ En los casos en que no sea posible lo anterior, establecen la gestión de los residuos teniendo en cuenta la reutilización, el reciclaje y la disposición final.

Sin embargo, carecen de los siguientes aspectos:

- ✓ La mayoría no tiene en cuenta el estudio de la demanda.
- ✓ No se realiza el control de la gestión de los residuos a través de la evaluación de impactos.

- ✓ No se realiza el seguimiento de la gestión de los RCD como forma de control.
- ✓ La gestión carece de un enfoque integrador.

De los modelos estudiados el que se considera que posee una visión más integral de la gestión de los RCD es el propuesto por Pineda *et al.* (2016) de Cuba, aunque en él no se presenta una concepción general (conceptual y gráfica) del problema al reflejar esencialmente los procesos para el aprovechamiento de este tipo de residuos y su evaluación de impactos. La experiencia cubana en el tratamiento productivo de los RCD es muy limitada, y carece de un modelo de gestión a tales efectos con enfoque de economía circular.

Conclusiones parciales

1. La reincorporación de los residuos de los procesos productivos al circuito técnico-económico constituye la base de la economía de la construcción sostenible. En particular, los RCD y su ulterior conversión en áridos reciclados reviste fuente de beneficios económicos, sociales y ambientales.
2. Los procesos a desarrollar para realizar la gestión de los RCD comienzan desde su generación por diversas fuentes, la pre-recolección, identificación, almacenamiento, separación, transportación para su aprovechamiento, ya sea como reutilización o reciclaje y los que no puedan ser valorizados van a disposición final.
3. El resultado del análisis de conglomerados jerárquicos permitió conocer las regularidades de los modelos, al tener en cuenta la minimización de los residuos; sin embargo, la mayoría no incluye el estudio de la demanda ni la evaluación de impactos, y la gestión carece de un enfoque integrador.

CAPÍTULO 2

MODELO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL
DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

CAPÍTULO 2. MODELO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN CUBA

En el presente capítulo se fundamenta la necesidad del reciclaje de RCD en los territorios de Cuba, tomando como referencia la situación que se presenta en la provincia Villa Clara. Se realiza un análisis crítico de la gestión de los RCD en Cuba. Se concibe y fundamenta el modelo de gestión integral de los RCD mediante un diagnóstico a partir del cual se declaran los factores principales que argumentan su utilización y se propone un procedimiento para su operacionalización.

Los métodos que se aplican para la realización del diagnóstico son la observación participativa, entrevistas (ver anexo 4), revisión de documentos de las empresas que participaron en este estudio y análisis socioeconómico de fuentes históricas (Oficina Nacional de Estadística e Información).

2.1. Necesidad del reciclaje de los RCD en la provincia de Villa Clara

El desarrollo del proceso inversionista y construcción de vivienda provocan un incremento en la demanda de materias primas. En la figura 7 se muestra el comportamiento dinámico del volumen de inversiones en los últimos años, en su componente construcción y montaje y mantenimiento constructivo.

La tendencia al incremento de estas actividades requiere mayores volúmenes de áridos naturales. Ante una demanda insatisfecha, el árido reciclado puede ser empleado como una alternativa.

El número de viviendas de Villa Clara con cierre diciembre de 2018, según Dirección Provincial de la Vivienda (DPV), es de 293 723 (DPV-VC, 2018). Este fondo habitacional se encuentra deteriorado y cada día esta realidad se acentúa más.

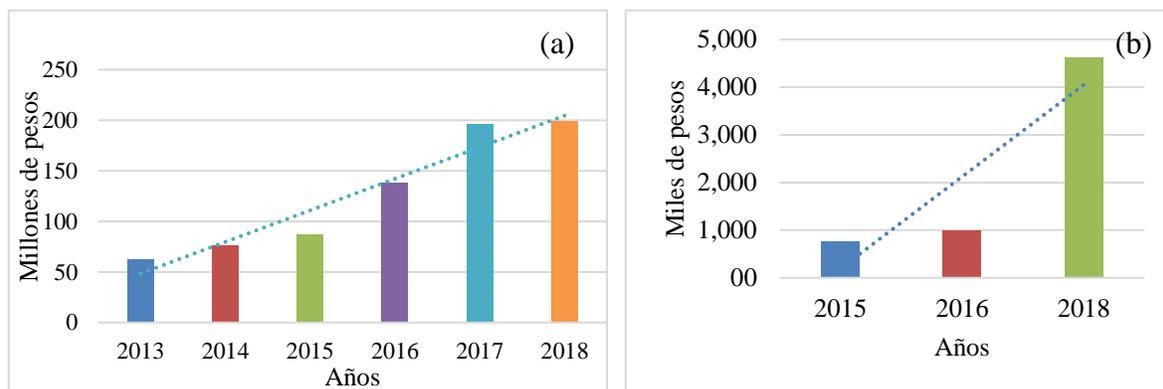


Figura 7. Comportamiento dinámico del volumen de inversiones en Villa Clara, a) Construcción y montaje, b) Mantenimiento constructivo.
Fuente: (ONEI, 2019)

Según la Dra. Arq. Gina Rey Rodríguez, especialista en urbanismo, un fondo habitacional que presente más del 30 % en estado regular y malo, se puede considerar como crítico; por lo que demanda una actuación más eficaz para revertirlo y es una causa significativa del incremento en la demanda de materiales de construcción (Alvarez-Luna *et al.*, 2017c).

La DPV reporta que en la provincia de Villa Clara el 41 % de las viviendas se encuentra en estado regular y malo, por lo que puede considerarse como crítico (DPV-VC, 2018). Este deterioro del fondo habitacional está originado por la ocurrencia de fenómenos naturales, calidad ambiental, tipología constructiva, envejecimiento de la infraestructura, gran cantidad de sitios de valor patrimonial y extensas áreas residenciales en la periferia. Las acciones de mantenimiento y reparación del fondo habitacional existente, el programa inversionista y el programa de la vivienda son las causas principales de que exista una alta demanda de áridos en la provincia (ver tabla 2).

Tabla 2. Piedras extraídas en las canteras de Villa Clara

Concepto	UM	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Piedra para trituración	Mm ³	493,3	526,6	613,4	535,0	411,6	491,1	505,8	3 576,8

Fuente: (ONEI, 2019)

Se observa que la cantidad de piedras extraídas llega a alcanzar un total de 3 576,8 Mm³ en solo un período de siete años; se incrementa gradualmente de un año a otro, aunque a partir del año 2015 muestra una disminución.

En la provincia existen cuatro unidades empresariales de base (UEB). En la UEB Armando Mestre se explota la cantera El Purio, perteneciente a Azcuba⁶, y en la UEB El Purio la cantera que lleva el mismo nombre, ambas ubicadas en el municipio de Encrucijada; en la UEB Raúl Cepero Bonilla está en explotación la cantera Palenque en el municipio de Camajuaní, y en la UEB Sergio Soto estaba en explotación hasta el año 2017 la cantera El Hoyo, la cual llegó al fin de su vida útil, por lo que fue necesario abrir una nueva cantera, conocida actualmente con el nombre de Macagua III, en el municipio de Manicaragua, que hace frente a las altas demandas de áridos. La de mayor capacidad de producción es el molino de piedra de El Purio, que tiene 30 años de fundado y a sus recursos le quedan 24 años de vida útil, del total otorgado en concesión por el Estado. En el caso de Palenque le quedan 24 años y a la Macagua III le quedan 16 años de vida. Estas canteras (ver anexo 5) constituyen la fuente de áridos naturales de la provincia, y aunque sus recursos se están agotando, no se realiza un aprovechamiento adecuado de la capacidad productiva (ver anexo 6), debido a la obsolescencia tecnológica de su equipamiento, por lo cual no satisfacen las demandas establecidas.

⁶ Es el grupo empresarial que sustituye al Ministerio del Azúcar (MINAZ), tiene entre sus principales funciones la producción de azúcar, derivados y electricidad.

Según datos brindados por la Empresa de Materiales de Construcción (EMC) (EMC-VC, 2018) se aprecia que existe una producción de arena (arena natural, arena artificial y arena lavada) de 136 800 m³ al año y la demanda de este producto es de 208 580 m³ al año. La demanda es mayor que la capacidad productiva, ya que este producto es muy utilizado para repellos de paredes y acabados; del mismo modo ocurre con la piedra para granito, los bloques de hormigón y las baldosas, por lo que existe un déficit de oferta de 71 780 m³ al año.

El volumen de inversiones a realizar, el programa de vivienda a cumplimentar, y la necesidad de que el territorio posea una reserva de materiales de construcción que facilite enfrentar los eventos climatológicos para el logro de la resiliencia urbana⁷ (Couret, 2018), unido al agotamiento de las canteras, trae consigo la necesidad de promover alternativas para atenuar el agotamiento de los recursos naturales no renovables de la provincia. De ahí la importancia de que el gobierno se proyecte en la adquisición de equipamiento para el aprovechamiento de los RCD y para la producción de nuevos materiales. Esto puede ser a partir de la fabricación de equipamiento en las empresas de la industria metal-mecánica o a través del financiamiento de proyectos internacionales, entre otras fuentes.

El Proyecto Hábitat II⁸ contribuye a la realización de diagnósticos en los municipios, en función de potenciar las nuevas formas de gestión en el sector de la construcción. Mediante este proyecto se han realizado disímiles estudios relacionados con el tema en busca de soluciones sostenibles, entre los cuales se destacan los resultados obtenidos en el CIDEM⁹,

⁷ Capacidad de las ciudades para afrontar impactos de fenómenos naturales extremos y al cambio climático, recuperarse y continuar su desarrollo.

⁸ Proyecto internacional, denominado: Implementación de estrategias para la gestión local del hábitat a escala municipal (Hábitat 2), financiado por COSUDE, está presente en 9 municipios del territorio.

⁹ Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

en el proyecto de investigación “Reciclado de desechos de la construcción (escombros) para la producción de áridos” con el fin de producir un material alternativo: árido reciclado. Los municipios participantes de la provincia son: Manicaragua, Remedios, Sagua la Grande, Placetas, Quemado de Güines, Camajuaní, Caibarién, Encrucijada y Corralillo.

A pesar de la alta demanda de áridos la provincia posee volúmenes significativos de RCD no reciclados. Estas cantidades se obtienen mediante la estimación de los residuos generados por las principales entidades del sector de la construcción y los núcleos domiciliarios. Se toman de referencia los municipios de Santa Clara, Remedios, Sagua la Grande y Manicaragua por ser los mayores generadores de RCD (ver tabla 3).

Tabla 3. RCD estimados en municipios de Villa Clara en el 2018

Municipios	Cantidad generada estimada (m³/año)
Santa Clara	76 836
Manicaragua	1 500
Sagua la Grande	898
Remedios	903
Total	80 137

Fuente: elaboración propia a partir de la información recopilada en estos municipios.

Dentro de las entidades del sector de la construcción se destacan: la Unidad Empresarial Base (UEB) Combinado Hormigón Eladio Rodríguez Méndez de Santa Clara; la UEB Planta de Prefabricado IMS, UEB Planta de Prefabricado Luis Ramírez López, UEB Planta de Prefabricado Cuba 71, Planta Prefabricado Sandino Sagua, Planta Prefabricado Sandino Remedios, los talleres de producción local de los municipios de Manicaragua, Sagua la Grande y Remedios, actualmente con la denominación de Unidades Empresariales de Base pertenecientes a la Empresa Provincial de Producción Local de Materiales de Construcción.

Dentro de los residuos generados por los núcleos domiciliarios se encuentran los recogidos por la entidad de Servicios Comunales.

Se observa que el municipio de Santa Clara es el mayor generador de RCD, con un total de 76 836 m³/año, superior a la capacidad productiva real de la UEB Armando Mestre y similar a las capacidades productivas reales de las UEB Raúl Cepero Bonilla y Sergio Soto, por lo cual constituyen reservas productivas desaprovechadas.

La situación antes descrita pone de manifiesto la necesidad de reciclar los RCD, teniendo en cuenta la escasez de los áridos naturales para garantizar el desarrollo de la infraestructura del país y el alto potencial de estos residuos no aprovechados, lo que refleja una contradicción que se manifiesta por una ineficiente e ineficaz gestión de los RCD.

2.2. Análisis crítico de la gestión de los RCD en Cuba

Desde 1961 existe en Cuba la industria de reciclaje¹⁰, la cual se ha encargado de la recuperación, procesamiento y comercialización de los materiales y desechos reciclables, generados por la industria, los servicios y la comunidad, entre los que se encuentran actualmente los materiales ferrosos, que incluyen la chatarra de acero; los no ferrosos, que abarcan el cobre, el bronce, el aluminio y otros metales; y los productos no metálicos que comprenden los desechos de papel, cartón, plástico, envases y desechos textiles (González del Toro, 2017). Sin embargo, en su concepción no se incluye el reciclaje de los RCD.

El comportamiento dinámico de los residuos sólidos en Cuba (ver figura 8), muestra un incremento paulatino en los últimos cinco años (ver figura 8 a), lo que obedece a que en este período se ha incrementado el consumo, principalmente de productos envasados y agrícolas

¹⁰ La estrategia cubana en la industria de reciclaje fue proyectada por el Comandante Ernesto Che Guevara, a partir de 1961, cuando se crea la Empresa Consolidada de Recuperación de Materias Primas que, en la actualidad, como resultado de una nueva política de reciclaje en el país, adopta el nombre de Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas (UERMP).

que generan importantes volúmenes de residuos. Además, se ha intensificado la construcción de viviendas por esfuerzo propio, lo cual genera mayor cantidad de RCD.

Como se observa en la figura 8 (b), existe una brecha cada vez más creciente entre la recolección y el vertido de los residuos sólidos urbanos, debido a que la población se encuentra mal orientada porque el vehículo recolector no pasa siempre a la misma hora ni el mismo día, y el almacenamiento de estos residuos no es el apropiado (Guelmes *et al.*, 2015). Tampoco se emplean eficientemente otros métodos de tratamiento de los RSU que pudieran reducir los volúmenes vertidos.

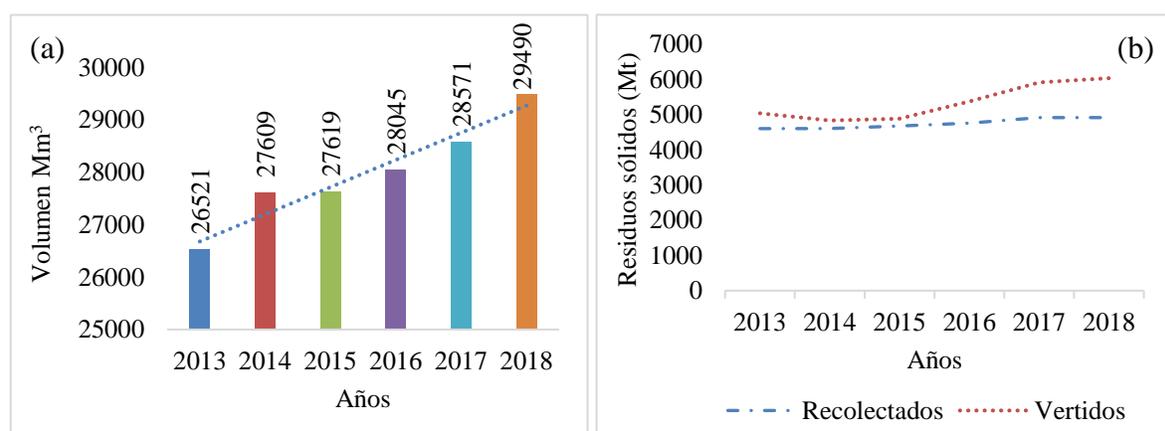


Figura 8. Comportamiento dinámico de la generación de los residuos sólidos en Cuba, a) Volumen de residuos sólidos en Cuba, b) Recolección y vertido de residuos sólidos en Cuba.

Fuente: (ONEI, 2019)

La ONEI emite esta información, pero no se reportan los impactos de los residuos sólidos en el medioambiente. Sin embargo, existen investigaciones (Colomina, 2005, García Melián *et al.*, 2009, Fernández y Gómez, 2010, Moreda y Martínez, 2013, Sotelo y Benítez, 2013, Goicochea-Cardoso, 2015, Jiménez y Acebedo, 2019) donde se exponen las consecuencias negativas de una mala gestión de los residuos sólidos, dentro de las que se encuentran:

- ✓ Enfermedades provocadas por vectores sanitarios: existen varios vectores sanitarios de gran importancia epidemiológica cuya aparición y permanencia pueden estar relacionados en forma directa con la ejecución inadecuada de alguna de las etapas en el manejo de los residuos sólidos.
- ✓ Contaminación de aguas: la disposición no apropiada de residuos puede provocar la contaminación de los cursos superficiales y subterráneos de agua, además de contaminar la población que habita en estos medios.
- ✓ Contaminación atmosférica: el material particulado, el ruido y el olor representan las principales causas de contaminación atmosférica.
- ✓ Contaminación de suelos: los suelos pueden ser alterados en sus estructuras debido a la acción de los líquidos percolados¹¹ dejándolos inutilizados por largos períodos de tiempo.
- ✓ Problemas paisajísticos y riesgo: la acumulación de residuos en lugares no aptos trae consigo un impacto paisajístico negativo, además de tener en algunos casos asociado un importante riesgo ambiental, pues se pueden producir accidentes, tales como explosiones o derrumbes.
- ✓ Salud mental: existen numerosos estudios que confirman el deterioro anímico y mental de las personas directamente afectadas.

En Cuba existe una estructura institucional para el control higiénico-sanitario y ambiental, que se caracteriza por una normativa dispersa, contenida en leyes, decretos-leyes, decretos, normas, reglamentos y otras disposiciones dirigidas a los residuos sólidos urbanos (Martín y

¹¹ Se refiere al paso lento de fluidos a través de materiales porosos.

Martínez, 2018). La Ley 81:1997 (ANPP, 1997) con su correspondiente decreto ley 200 contiene disposiciones con respecto a los RSU, sin especificaciones para el tratamiento de los RCD. Tal ausencia se verifica también en las normas cubanas (NC) vigentes, como son: (NC-133, 2002, NC-134, 2002, NC-135, 2002); (NC-530, 2009) e (ISO-14001, 2015). Solo el decreto ley 201:1995 que establece las infracciones contra el ornato público y la higiene comunal en la ciudad de La Habana incluye dentro de la disposición general un inciso de un artículo relacionado con el vertido de los RCD (Decreto-201, 1995) (ver anexo 7).

Para los áridos se pone en vigor la (NC-251, 2019), que tiene en cuenta los requisitos de calidad que estos deben cumplir, pero no incluye requerimientos relacionados con los áridos reciclados (ver anexo 8).

Por otra parte, la tecnología de la industria de reciclaje es obsoleta, pues el 80 % del equipamiento posee una vida útil que supera los 25 años de explotación (González del Toro, 2017). Esta industria no procesa RCD al no vincularse con sus fuentes generadoras.

En el país existen experiencias en el reciclado de áridos, la forma más generalizada es en los talleres de producción local de materiales de varios municipios del país (ver anexo 9), con la existencia de pequeñas máquinas utilizadas para triturar los bloques y otros elementos que allí se produzcan, proporcionadas por el proyecto Hábitat (Alvarez-Luna *et al.*, 2017a).

En la provincia de La Habana se han construido dos plantas de reciclaje de mayor capacidad productiva. La planta de Husillo¹², reactivada en los últimos años, la cual procesa los residuos

¹² Esta planta fue donada mediante el Proyecto de Cooperación al Desarrollo entre Cuba y el País Vasco entró en funcionamiento en 1998.

cerámicos y de mampostería para la obtención de aresco¹³, producto reciclado para ser utilizado como mortero de albañilería.

La planta de hormigón de la Oficina del Historiador¹⁴ ha producido los áridos reciclados que se han empleado en más de 80 obras del Centro Histórico. En 2006 se usaba menos del 7 % de áridos reciclados en las obras, y en 2013 se aumentó al 42 %. Entre 2009 y 2010 se amplió la inversión para el reciclaje de RCD, se construyeron nuevos laboratorios y una fábrica de bloques que actualmente produce 500 unidades diarias.

Estas experiencias no han sido sistematizadas en otras provincias del país a pesar de que constituyen estudios de referencia para la aplicación de buenas prácticas en el reciclaje de áridos.

A pesar de que la legislación vigente contempla la necesidad de desarrollar programas de educación ambiental que consideren la gestión de los RSU, persisten deficiencias que se resumen en la Estrategia Ambiental Nacional 2016-2020 (Citma, 2016). Entre los problemas detectados se destacan:

- Carencia de un enfoque interdisciplinario de educación ambiental en los programas y planes de estudio del sistema nacional de educación y la formación inicial y continua de profesionales en la educación superior y de otros sectores.
- Insuficiente incorporación de la dimensión ambiental en el sistema de capacitación de la mayoría de los OACE y en los diferentes niveles de Gobierno.

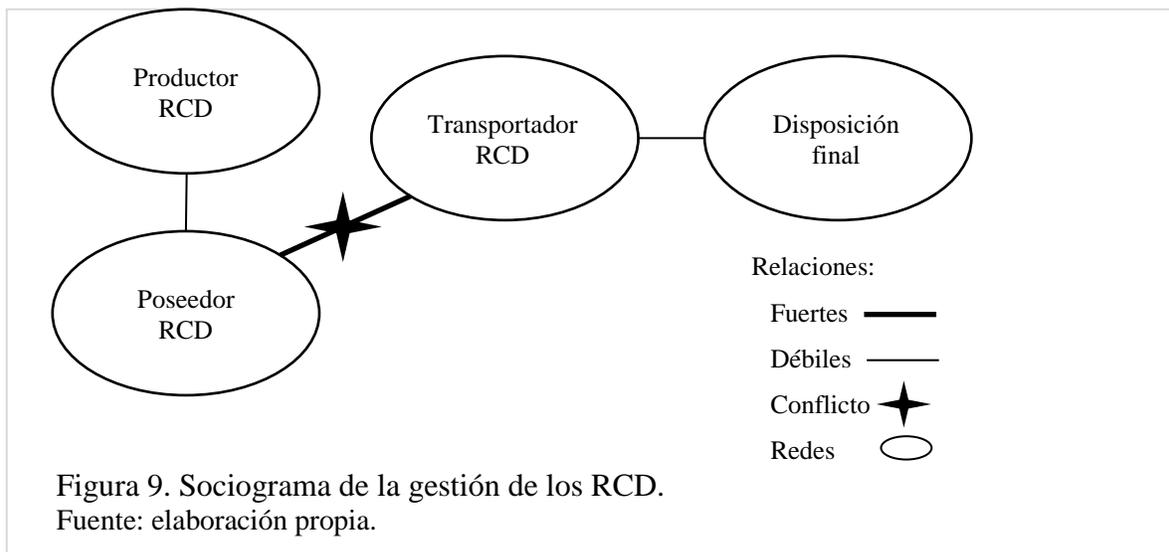
¹³ Denominación local del material elaborado a partir de la clasificación y molienda de los restos de las demoliciones, derrumbes y obras de reparación en La Habana.

¹⁴ El proyecto comenzó en 2005, como parte de un acuerdo con el gobierno vasco.

- Poca calidad, diversidad y efectividad de los productos dedicados al medioambiente cubano en los medios de comunicación, y deficiente preparación de los realizadores para que este empeño, promueva la sensibilidad ciudadana e institucional a través del ejercicio de la crítica ante las afectaciones al medioambiente y la difusión de buenas prácticas.
- En los programas de educación ambiental existen pocas referencias al tema de residuos de construcción y demolición.

La gestión de los RCD a nivel de país se refleja de manera similar en la provincia de Villa Clara.

Como resultado de las entrevistas realizadas a directivos de empresas del sector de la construcción, la dirección provincial y municipal de comunales en Villa Clara y delegados del Poder Popular (ver anexo 10) se elaboró un sociograma¹⁵ que se muestra en la figura 9.



¹⁵ Técnica que representa gráficamente las relaciones sociales que están presentes en un momento determinado, entre un conjunto de actores, con vistas a transformar la situación.

La técnica del sociograma representa la realidad de la gestión actual entre los actores involucrados en esta actividad. Se evidencia no solo la pobre articulación entre núcleos domiciliarios, productores, transportistas y gestores, sino también la convivencia contradictoria ante esta situación, que merece políticas para mejorar la gestión de los RCD, en aras de la construcción a escala local y del cuidado del medioambiente.

En las plantas de prefabricados y UEB productoras de hormigón, las producciones defectuosas, que pueden constituir residuo, se comercializan con otros fines. En el proceso de producción de estas entidades se generan residuos de hormigón que no se aprovechan y se acumulan en los patios al no existir el marco jurídico legal que contemple su tratamiento ni tecnologías para reciclar; así como la falta de iniciativa para el aprovechamiento de las pérdidas del proceso tecnológico, entre otras. En los talleres de materiales de construcción se pueden reciclar las producciones de hormigón defectuosas.

Otras fuentes de generación de los RCD son: la población e instituciones que desarrollan actividades constructivas, la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA)¹⁶ y las unidades comercializadoras de materiales de construcción¹⁷. La gestión en el tratamiento de estos residuos se dificulta por la carencia de un sistema de transportación, generándose una relación de conflicto entre el poseedor y el transportador de RCD, la cual se agudiza cuando el generador es la población, lo que trae consigo, ante la ausencia de una gestión integral de los RCD, su vertimiento desordenado.

Las experiencias en la utilización de los RCD son aisladas y se remiten solo al aprovechamiento de parte de los residuos de hormigón en los talleres de producción de

¹⁶ Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas.

¹⁷ Se le denomina así en el trabajo, a las tiendas comercializadoras de materiales de construcción del Ministerio de Comercio Interior (MINCIN) y a las tiendas recaudadoras de divisas (TRD).

materiales de construcción. La provincia posee una experiencia en cuanto a la recogida de escombros en el municipio de Santa Clara que se aplicó con buenos resultados desde 2016 hasta 2018 y en la actualidad se ha visto restringida debido a limitaciones económicas e indisciplinas sociales relacionadas con el pago establecido, por lo que solo se aplica en la Zona 1, Consejo Popular Centro. El gobierno le encarga a la Dirección Provincial de Servicios Comunales en Villa Clara, la prestación del servicio de recogida y transportación de escombros embalados a la población, conformándose de esta manera el proyecto “Sistema de Recogida de Escombros” (ver anexo 11). Esta experiencia, aunque positiva en la recogida se limitó en el tratamiento a la disposición final en el vertedero de este tipo de residuo, por lo no se aprovechó mediante la reutilización o el reciclaje.

Por tanto, en Villa Clara la gestión de los RCD se orienta fundamentalmente a su recogida y traslado a los vertederos, por lo cual no constituye una práctica sistemática el proceso asociado al reciclaje de los RCD.

La ausencia de una gestión integral de los RCD se concreta en lo siguiente:

- Las normas que forman parte del marco jurídico están centradas esencialmente en los RSU y no en la regulación del uso de los RCD y del nuevo producto obtenido a partir del procesamiento de los mismos: árido reciclado. Esto dificulta la creación de un mecanismo económico necesario para la gestión del reciclaje.
- La tecnología con que cuenta la industria de reciclaje es obsoleta.
- Existe una pobre articulación entre los núcleos domiciliarios, productores, transportistas y gestores.
- Falta de cultura y educación sobre el reciclaje en la población.

- No existen programas de educación ambiental institucionalizados en el tema de los RCD.
- No se realizan campañas de sensibilización sobre la necesidad de reciclar RCD y contribuir a mitigar la situación de los recursos naturales no renovables.
- Se evidencia la ausencia de sinergia entre las organizaciones, actores, procesos y actividades.
- No se realiza seguimiento del proceso de reciclaje.
- Se confirma la carencia de enfoque sistémico de gestión.
- No se han generalizado las experiencias en cuanto a la producción de árido reciclado.

La carencia de enfoque sistémico de gestión evidencia la pertinencia de la realización de estudios que abarquen no solo la fundamentación desde el punto de vista teórico sino la gestión desde una perspectiva integral de manera tal que permita el diseño de un modelo y procedimiento ajustado a las condiciones de Villa Clara.

2.3. Modelo para la gestión integral de los RCD en Cuba

La concepción de un modelo para la gestión integral de los RCD y su puesta en práctica mediante el procedimiento ofrece un punto de partida acertado para:

- ✓ Disponer de un método científico para organizar, planificar, dirigir y controlar la gestión integral de los RCD.
- ✓ Obtener un conocimiento de los hechos y un análisis real de la situación.

- ✓ Contribuir a la toma de decisiones con criterio sistemático, ajustado a las características específicas de los territorios, que facilite el avance progresivo hacia una mayor utilización de este tipo de residuo y se mitigue la creciente escasez de los recursos naturales no renovables.
- ✓ Vincular a los diferentes actores que intervienen en el proceso de reciclaje para la consecución de objetivos comunes y contribuir a su integración.
- ✓ Permitir un mejor aprovechamiento de los recursos naturales.
- ✓ Desarrollar competencias técnicas y empresariales a los efectos de lograr la resiliencia de las ciudades.
- ✓ Contar con mecanismos de control y seguimiento que garanticen la corrección en caso de desviaciones.

El diseño del modelo se sustenta en las premisas siguientes:

- Se utiliza un enfoque sistémico donde se integran las dimensiones del ciclo, las etapas y los actores relacionados con la gestión de los RCD.
- Concibe la integración de los actores que se involucran en el proceso de la gestión de los RCD.
- Se corresponde con los objetivos del desarrollo sostenible.

El modelo debe cumplir dos requisitos básicos:

1. Dar prioridad a la valorización de los RCD frente a la eliminación, que deberá constituir la última opción deseable.

2. Libre entrada y salida de RCD de un territorio, priorizando las necesidades de la localidad.

El modelo propuesto (figura 10) establece las posibles relaciones internas y externas del proceso de aprovechamiento de los RCD, basado en los criterios de sostenibilidad, con enfoque de economía circular.

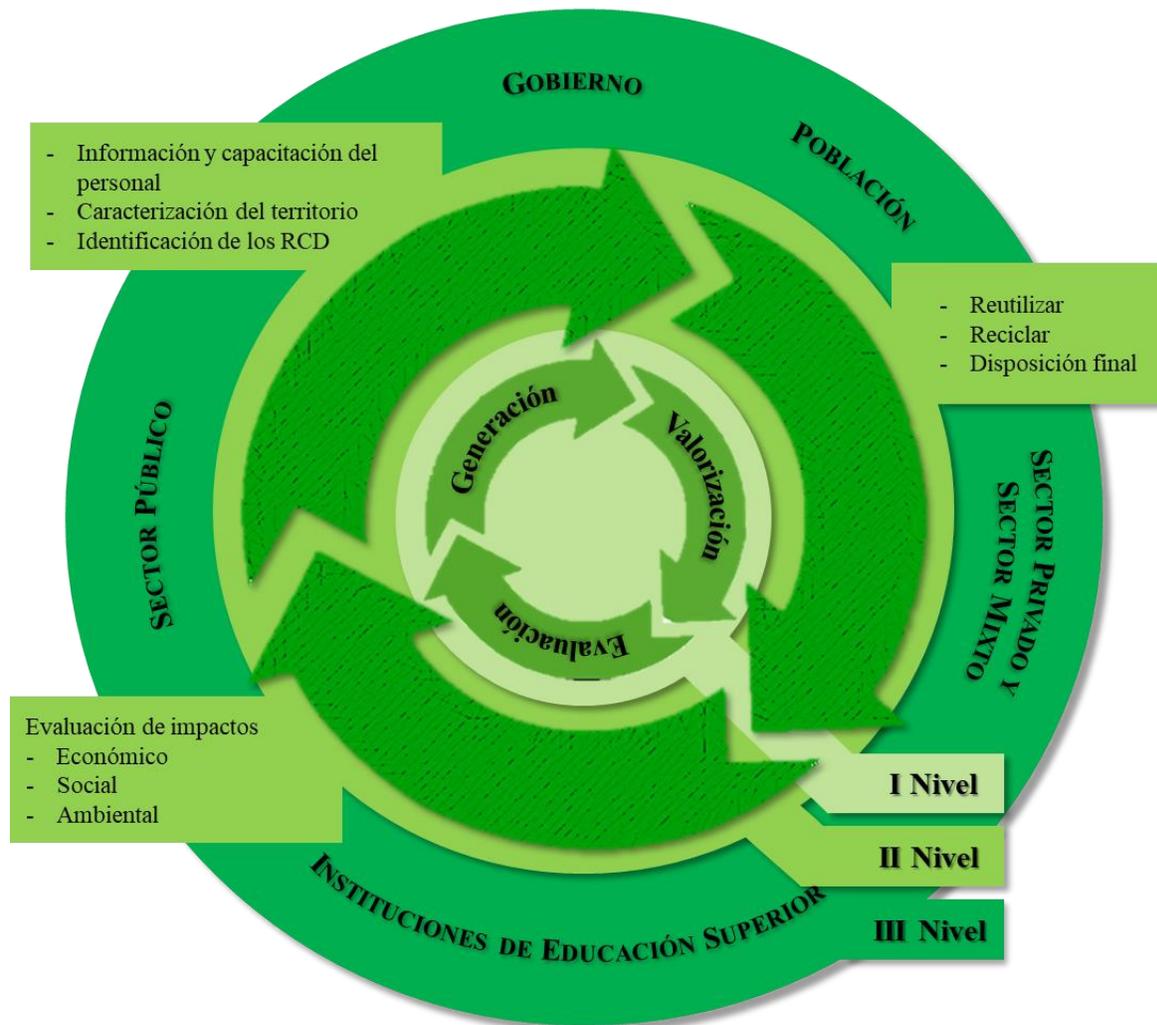


Figura 10. Propuesta de modelo teórico para la gestión integral de los RCD.
Fuente: elaboración propia.

Se estructura en tres niveles: el primer nivel constituido por la organización del ciclo que

comprende generación, valorización y evaluación de los RCD; un segundo nivel que desarrolla el ciclo explicando las etapas que lo integran, y un tercer nivel que establece el papel de los actores que se involucran en el proceso del reciclaje de los RCD, donde se declaran las interrelaciones desde las dimensiones hacia los actores.

La concepción general del modelo tiene el propósito de explicar la relación conceptual entre los niveles de la gestión de los RCD, teniendo en cuenta las condiciones particulares de cada territorio.

A continuación, se detalla cada uno de los niveles antes mencionados:

Primer Nivel: Ciclo de los RCD

Este nivel tiene como objetivo organizar el ciclo de los RCD, teniendo en cuenta sus tres dimensiones.

- ⇒ Generación: los generadores separan y clasifican los residuos para su entrega al punto limpio o lugar de tratamiento, y su transportación se realiza según lo pactado entre generador y receptor de los RCD.
- ⇒ Valorización: en el punto limpio o el lugar del tratamiento serán valorizados para su aprovechamiento o disposición final.
- ⇒ Evaluación: la viabilidad de la comercialización se fundamenta con la evaluación de los impactos económicos, sociales y medioambientales del aprovechamiento en la producción.

Segundo Nivel: Ampliación del Ciclo de los RCD.

En este nivel el objetivo está en desarrollar el ciclo de los RCD, las relaciones que se establecen entre las dimensiones se explican con más detalle al tener en cuenta las etapas

implícitas. Para que sea efectiva la gestión en la generación de los RCD, es necesario concebir varias etapas, como la sensibilización y toma de conciencia de los actores implicados a través de la información y capacitación; la caracterización del territorio en cuanto a las limitaciones y potencialidades en torno a la gestión de estos residuos, y de esta manera estimar los volúmenes generados (Alvarez-Luna *et al.*, 2016a).

La valorización debe tener en cuenta la composición de los RCD que es muy variada pues depende de numerosos factores como las prácticas de construcción y demolición existentes, las materias primas y los productos de construcción empleados. Cada uno de los materiales que conforman este flujo presenta características diferentes, por lo que en función de ellas variará su potencial para la reutilización y el reciclaje, así como las posibilidades de reducir su presencia en los vertederos.

Para fundamentar la viabilidad de la comercialización de los RCD se propone evaluar los impactos económicos, ambientales y sociales.

Tercer Nivel: Relación desde las etapas hacia los actores

Las relaciones que se establecen desde las etapas hacia los actores, constituyen parte importante en la correcta gestión de los RCD, así como su implicación para resolver la problemática de su generación y tratamiento. El modelo concibe la integración de estos en grupos de trabajo por niveles, donde sean consideradas las opiniones, sugerencias, conocimientos y aportes individuales o colectivos.

Los actores que participan en la gestión de los RCD, están representados dentro del sector público, sector privado, sector mixto, las instituciones de la educación superior, el gobierno, y la población.

El sector público está conformado por las empresas, entidades presupuestadas y las cooperativas¹⁸. El sector privado por los trabajadores por cuenta propia y las empresas con capital totalmente extranjero. El sector mixto por los contratos de asociación económica internacional y trabajadores por cuenta propia que tienen contrato con los talleres de producción local de materiales de construcción. Las instituciones de la educación superior que participan en la capacitación, orientación y acompañamiento de la gestión, se conforman por las universidades, los centros de investigación y las Empresas de Ciencia y Tecnología¹⁹. El gobierno debe coordinar cómo realizar la gestión y la población alta generadora de residuos.

La presentación del modelo teórico es el punto de partida para la concepción de un procedimiento que constituya una guía metodológica, objetiva y flexible que se adecue a las características de cada localidad y provincia de Cuba. Además, constituye la plataforma teórica que se operacionaliza en el procedimiento propuesto.

2.4. Procedimiento para la gestión integral de los RCD en Cuba

Se desarrolla un procedimiento con el objetivo de que los principales actores de los territorios posean un instrumento para la mejora continua de la gestión de los RCD. Está dirigido a las entidades generadoras y transformadoras de este tipo de residuos para la producción de materiales de construcción tan necesarios en la fabricación de viviendas (Alvarez-Luna *et*

¹⁸ Grupo de cooperativas agropecuarias y no agropecuarias que poseen un segmento de relaciones propiamente cooperativas y otro segmento de relaciones de naturaleza privada.

¹⁹ Publicado el 08/11/2019 en la *Gaceta Oficial de la República de Cuba* No. 86. Empresas que funcionarán como interfaz entre las Universidades y las Entidades de Ciencia, Tecnología e Innovación serán propuestas por los rectores de cada una de las universidades del país.

al., 2017b). Contar con esta herramienta posibilita que las entidades que reciclen los RCD puedan producir mayor cantidad de materiales de construcción, lo que se revierte en una mayor satisfacción de la población.

El procedimiento propuesto se presenta en la figura 11 y tiene en cuenta ocho principios:

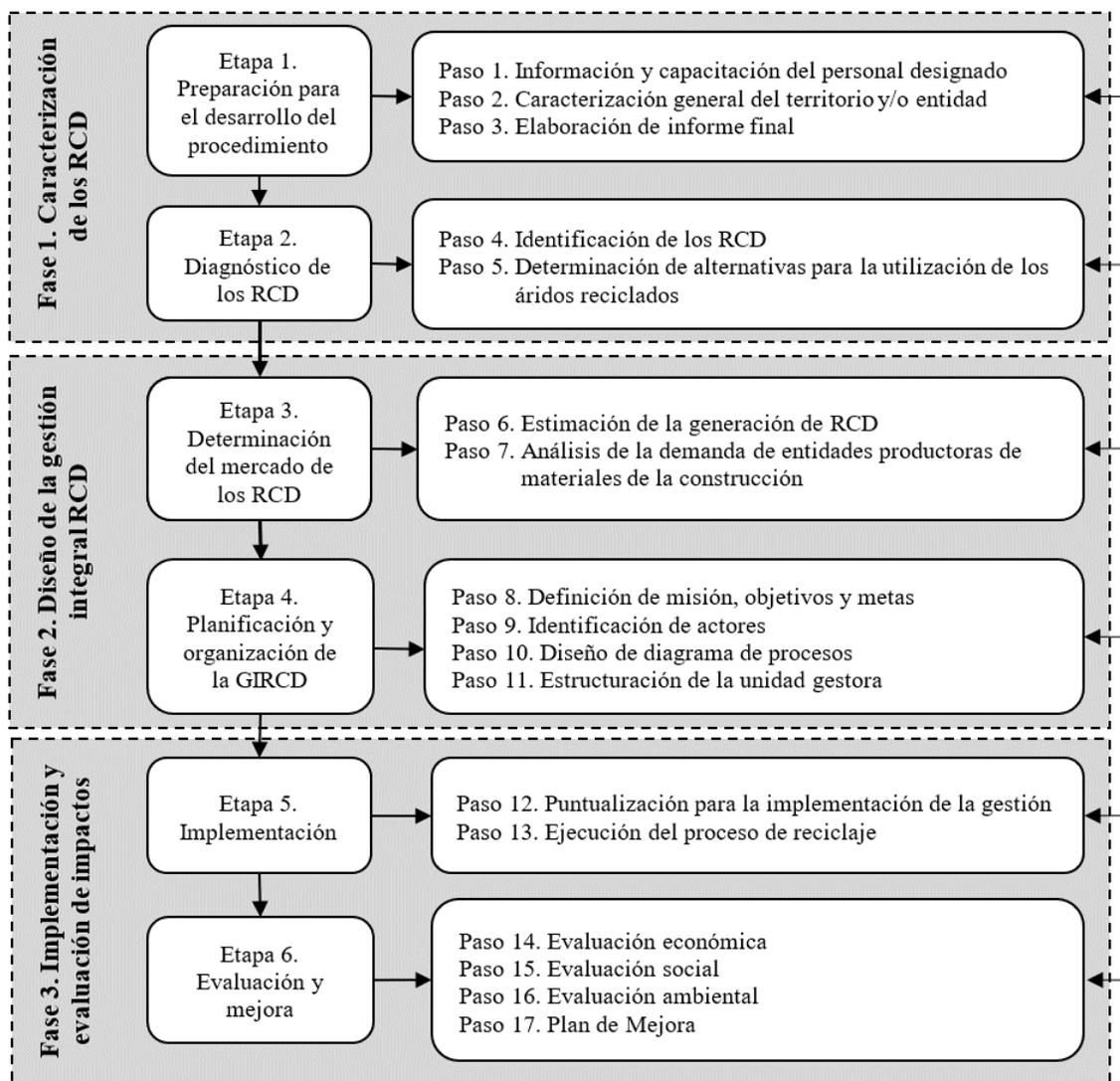


Figura 11. Procedimiento para la gestión integral de los RCD.

Fuente: elaboración propia.

1. Prevención: ya que es importante la reducción significativa global del volumen de residuos generados.

2. Jerarquía: por la importancia de establecer un orden en el aprovechamiento de los residuos dado por reducir, reutilizar, reciclar, recuperar (energía y canteras) y, por último, disposición final.
3. La minimización del impacto ambiental global: introduce un enfoque de ciclo de vida producto/residuo para minimizar el costo ecológico.
4. Reutilización: es la segunda prioridad del principio de jerarquía y en realidad constituye una modalidad de prevención.
5. Recuperación: que incluye el reciclaje y la recuperación energética; se da preferencia a la recuperación de materiales sobre esta última. Se pretende que la mayor parte de los residuos se reintroduzcan en el ciclo económico, de manera prioritaria, mediante el aprovechamiento de los materiales en ellos contenidos.
6. Eliminación: de aquellos residuos que no son susceptibles de valorización, se busca que sean eliminados con garantías de seguridad, utilizando las tecnologías más apropiadas en cada caso. Tanto si se eliminan mediante depósito de seguridad como si lo son por incineración, ambos tratamientos deben ajustarse a las normas ambientales en vigor.
7. Integración: se busca la conservación de los recursos naturales no renovables, la disminución de la contaminación del ambiente, evitar la degradación de los ecosistemas, economizar energía, abaratar los costos, generar nuevas fuentes de empleo mejorando la calidad de vida y traer beneficios en el desarrollo político, social, ambiental, económico y tecnológico.

8. **Concientización:** constituye el proceso de sensibilización a directivos, ejecutores, técnicos y la población. Esto se llevará a cabo a través de programas de divulgación y pedagogía social destinados a motivar a la población con vistas a conseguir su colaboración, imprescindible para el logro de los objetivos ecológicos.

Descripción del procedimiento de gestión integral de los RCD (GIRCD)

Fase 1. Caracterización de los RCD

Esta fase consta de dos etapas y tiene como propósito describir las características e identificar los tipos de RCD que se generan en los territorios²⁰ y/o entidades, a partir del conocimiento que posean los especialistas de esta actividad.

Etapas 1. Preparación para el desarrollo del procedimiento

Esta etapa tiene como objetivo informar y capacitar a los especialistas sobre las características generales del territorio y/o entidad y consta de tres pasos.

Paso 1. Información y capacitación del personal designado

La información tiene en cuenta la presentación del equipo a involucrar en la aplicación del procedimiento. Se realizan actividades de intercambio para conocer las funciones de cada especialista y determinar el nivel de conocimiento de los mismos sobre el objeto de estudio.

Se capacita al personal designado en el tema objeto de análisis (ver anexo 12). Para ello se recomienda la realización de talleres por su enfoque participativo, como técnica efectiva que pretende lograr la integración de conocimientos. Además de plantear interrogantes, abrir

²⁰ Municipios y/o provincias.

cuestionamientos, facilitar búsquedas y estimular la provocación de conflictos. Se propone que se aplique una encuesta para conocer el impacto de la capacitación realizada.

Paso 2. Caracterización general del territorio y/o entidad

Se dan a conocer las características generales que posee el territorio y/o entidad objeto de estudio. Se recopila la información de los resultados de la aplicación de la técnica del taller, donde se tendrá en cuenta los tipos de RCD del territorio y/o entidad, los potenciales generadores, el sistema de recogida, y la situación de los recursos naturales no renovables (áridos naturales).

Paso 3. Elaboración del informe final

A partir del resultado de los pasos anteriores, el equipo de trabajo elabora un informe que sirva de base para realizar el diagnóstico, teniendo en cuenta las características generales del territorio y/o entidad.

Etapa 2. Diagnóstico de los RCD

Esta etapa tiene como objetivo proporcionar conocimiento de los RCD generados para su posterior tratamiento, y consta de dos pasos.

Paso 4. Identificación de los RCD

Se identifican los residuos que se puedan generar para decidir si se van a reutilizar o reciclar, lo que facilita una implementación eficaz del procedimiento de gestión integral de los RCD. Aquellos residuos que no se puedan valorizar van a disposición final (ver figura 12).

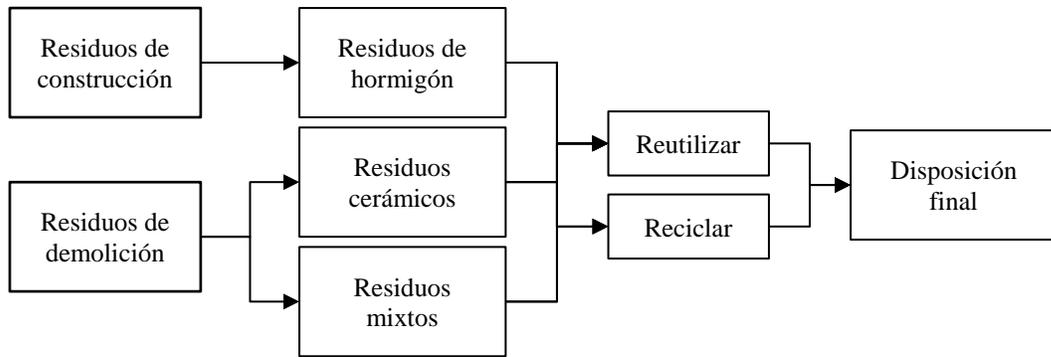
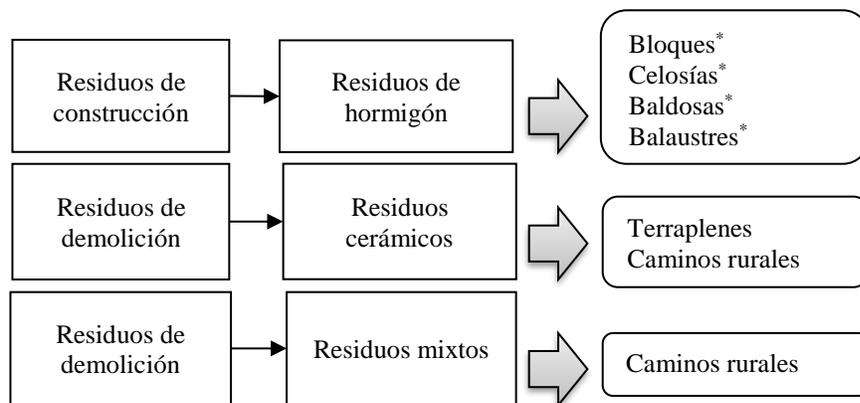


Figura 12. Tipos de RCD

Fuente: elaboración propia.

Paso 5. Determinación de alternativas para la utilización de los áridos reciclados

Las posibles alternativas de utilización de los áridos reciclados se presentan en la figura 13.



*Ejemplos de elementos de hormigón no estructural de pequeño formato

Figura 13. Alternativas de utilización de los áridos reciclados.

Fuente: elaboración propia.

En el caso de que la cantidad generada de RCD no se pueda procesar debido a limitaciones de las capacidades productivas instaladas del territorio, o no se cuente con el equipamiento necesario, se sugiere evaluar otras alternativas. Para ello se propone el empleo del método multicriterio de factores ponderados para establecer la relación ordinal entre las alternativas consideradas para el uso de los RCD (Jiménez-Martínez *et al.*, 2019) (ver tabla 4).

Tabla 4. Matriz multicriterio para la selección de alternativas de utilización de RCD

Factores o criterios (F _i)	Pesos (W _i) %	Alternativas de utilización de RCD			
		A ₁	A ₂	...	A _m
Factor 1	W ₁	E ₁₁	E ₁₂	...	E _{1m}
Factor 2	W ₂	E ₂₁	E ₂₂	...	E _{2m}
.
.
.
Factor n	W _n	E _{n1}	E _{n2}	...	E _{nm}
Puntuación total (P_j)		P ₁	P ₂	...	P _j

Fuente: elaboración propia a partir de (Baptista, 2017)

La metodología de aplicación se puede estructurar en los siguientes pasos:

1. Definir alternativas para el procesamiento de los RCD.
2. Identificar los factores relevantes a considerar en la toma de decisiones (W_i).
3. Asignar una ponderación a cada factor para indicar su importancia relativa. La suma de las ponderaciones es igual a 1.
4. Definir la puntuación dada a cada alternativa de acuerdo con la escala diseñada (E_{nm}).
5. Calificar cada alternativa de acuerdo con la escala diseñada, y multiplicar las calificaciones por las ponderaciones, según la expresión (1).

La puntuación total se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$P_j = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_i * E_{ij} \quad (1)$$

Donde:

$$i = 1, 2, 3, \dots, n \text{ (filas)}$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, m \text{ (columnas)}$$

6. Sumar los puntos de cada alternativa y establecer la relación ordinal.

Fase 2. Diseño de la gestión integral de los RCD

El objetivo de la segunda fase es diseñar cómo gestionar los RCD con un enfoque integral y sistémico. Se definen los objetivos, metas y se identifican los actores, así como el esquema de la secuencia de operaciones, de los procesos y su funcionalidad.

Etapa 3. Determinación del mercado de los RCD

Esta etapa tiene como objetivo proporcionar conocimiento del mercado de RCD y se propone su realización en dos pasos.

Paso 6. Estimación de la generación de RCD

Para estimar la cantidad de RCD generada se tienen en cuenta los tipos de residuos (hormigón, cerámico o mixto) y la generación por las empresas del sector (industria y/o talleres de producción local) y por los núcleos domiciliarios.

En el caso de la generación de las empresas del sector, existen varios métodos para estimar los RCD (Sáez, 2014, Suárez Silgado, 2016), pero se propone utilizar el método de la estimación puntual propuesto por (Bedoya, 2011), por ser el que explica detalladamente los componentes para el cálculo del total de los RCD y el que más se ajusta a las condiciones de Cuba:

$$TRCD = Ru + RCo + RCa \quad (2)$$

$$Ru = MC + MCE \quad (3)$$

Donde:

TRCD = Total de RCD (m³)

Ru = Residuos reutilizables (m³)

MC = materiales compuestos por cemento, cal, arena y piedra, como concretos, bloques de concreto, etc. (m³)

MCE = materiales cerámicos: tejas, tubos, ladrillos y baldosas (m³)

$$RCo = RCD II \quad (4)$$

Donde:

RCo = residuos reciclables en obra (m³)

RCD de Nivel II = residuos generados principalmente en las actividades propias del sector de la construcción, de la demolición (D), de la reparación domiciliaria (RD) y de la implantación de servicios (IS) (abastecimiento y saneamiento, telecomunicaciones, suministro eléctrico, gasificación y otros) Su composición es muy heterogénea, incluye materiales como hormigón, ladrillos y otros (m³)

$$RCa = RCD I \quad (5)$$

Donde:

RCa = residuos reciclables fuera de obra (m³)

RCD de Nivel I = tierras y materiales pétreos, resultado de la excavación y los movimientos de tierra llevados a cabo en el transcurso de las obras, cuando están constituidos exclusivamente por tierras y materiales pétreos exentos de contaminación (m³)

D = disposición final, debido a que no todos los residuos que se generan de un proceso constructivo son reutilizables o reciclables; aquellos que no puedan

ser aprovechados deberán ser dispuestos en sitios especializados, con el documento de control correspondiente (m³)

En el caso de la generación por los núcleos domiciliarios se recomienda seguir el orden siguiente:

1. Recopilar datos históricos relacionados con la generación de los RCD.
2. Determinar valores promedio.
3. Estimar la cantidad de RCD mínima y máxima por entidad generadora. Se proponen métodos de estimación por intervalos.
4. Determinar la cantidad total estimada de RCD para un período.

A partir de la ecuación propuesta por DPSC-VC (2016) en la que se relaciona el volumen de desechos sólidos que se genera en una ciudad por habitante en un día, se asume la relación entre el volumen de residuos de construcción y demolición recolectados diariamente por la entidad de Servicios Comunes a los núcleos domiciliarios.

$$PGRCDH = VRCDRD / \text{Población a la que se le presta servicio} \quad (6)$$

Donde:

PGRCDH = promedio de generación de RCD diario por habitantes (m³/hab)

VRCDRD = volumen de RD recolectados diariamente (m³)

Paso 7. Análisis de la demanda de entidades productoras de materiales de construcción

Para desarrollar este paso se sugiere lo siguiente:

- Identificar las entidades con potencialidades de utilización del árido reciclado.

- Determinar en cada entidad los productos que se pueden obtener a partir del uso de árido reciclado obtenido de los RCD teniendo en cuenta la capacidad tecnológica instalada y la disposición de otros recursos (Alvarez-Luna *et al.*, 2019).
- Estimar la demanda a partir de la capacidad tecnológica instalada.

Etapa 4. Planificación y Organización de la GIRCD

Esta etapa tiene el propósito de planificar y organizar la gestión integral de los RCD mediante la definición de la misión, metas, objetivos y alcance, la identificación de actores y sus funciones correspondientes, diseño de la secuencia operacional que comprende el diseño de los procesos y la interacción de los flujos materiales, informativos y financieros.

Paso 8. Definición de misión, objetivos y metas

Para definir la misión de la gestión integral de RCD es necesario tener en cuenta:

- Las prioridades de la gestión de los RCD.
- El establecimiento de rangos de objetivos viables.
- Establecimiento de la meta o aspiración a lograr.
- Definición del alcance.

Paso 9. Identificación de actores

Además de la identificación de los actores es de vital importancia describir las funciones de cada actor involucrado en la gestión de los RCD y las relaciones sociales entre ellos (ver tabla 5).

Tabla 5. Definición de actores y descripción de las funciones

Actores	Descripción de funciones
Productor	Es la persona natural o jurídica, ya sea de naturaleza pública, privada o mixta, que realiza las actividades generadoras de RCD o efectúa operaciones de tratamiento previo, de mezcla u otro tipo que ocasionen un cambio de naturaleza o de composición de estos residuos. Algunos ejemplos de actores son las plantas de prefabricado, los talleres de producción local, y las empresas estatales.
Poseedor	Persona natural o jurídica que efectúa las operaciones de derribo, construcción, rehabilitación, excavación u otras operaciones generadoras de los residuos, o la persona que los tenga en su poder y no ostente la condición de gestor de RCD. Se destacan en esta denominación actores como la población, ENIA y las tiendas del MINCIN.
Transportador	La persona o entidad, ya sea de naturaleza pública, privada o mixta, que efectúa las operaciones de transportación hacia los lugares donde se realiza la valorización de los RCD. Algunos ejemplos de actores son la dirección provincial y municipal de servicios comunales y los recolectores individuales.
Gestor	La persona o entidad, pública o privada, registrada mediante autorización (instalaciones) o comunicación (operaciones de gestión sin instalación asociada), que realiza cualquiera de las operaciones que componen la gestión de los residuos, sea o no el productor de estos. Algunos ejemplos de actores de mayor relevancia son gobierno municipal y provincial, planificación física, los medios de comunicación, centros de formación, entre otros. Actualmente la valorización que se realiza solo incluye el tratamiento de los RCD para disposición final.

Fuente: elaboración propia.

En algunos escenarios coinciden el productor y el poseedor de los RCD²¹.

La obligación principal del poseedor es entregar los RCD a un gestor registrado. En la actualidad el gestor encargado de la transportación de los RSU es la entidad de Servicios Comunales²² que tiene el encargo social de recoger este tipo de residuo a la población, pero no a las empresas, y tampoco recolecta los RCD, por no tener todas las condiciones.

²¹ Un ejemplo lo constituye la Empresa de Construcción y Mantenimiento que posee como productor a los talleres de producción local y como poseedores se encuentran las instituciones que la empresa tiene el encargo de reparar, restaurar, etc. Se destacan las instituciones de salud, educación, cultura, entre otras.

²² Empresa Provincial con Tratamiento Especial de Servicios Comunales.

Paso 10. Diseño de diagrama de procesos

La gestión integral de los RCD supone el establecimiento de la secuencia operacional de las actividades a desarrollar en cada proceso. El diagrama de proceso general se representa en la figura 14. Según Zaratiegui (1999) en los modelos de gestión, los procesos tienen el papel central como base de la organización y como guía sobre la que articular el sistema de indicadores de gestión.

Para diseñar los procesos es necesario realizar los pasos siguientes:

1. Identificar todos los procesos a desarrollar en el sistema.
2. Definir las actividades asociadas a cada proceso.
3. Determinar la secuencia e interacción entre los procesos.

Como se aprecia en este esquema, las empresas, tiendas del MINCIN, las plantas de prefabricados y la población son los principales generadores de RCD. Estos residuos pueden transportarse directamente a las unidades gestoras que tienen la misión de transformarlos en áridos reciclados o pueden previamente pasar por los puntos limpios en los cuales se deben clasificar y beneficiar antes de ser transportados a las unidades gestoras. Los áridos reciclados son de gran utilidad para utilizarlos como materias primas en la producción de materiales de construcción, reparaciones de terraplenes, caminos rurales, entre otros usos. De ahí la importancia de que el gobierno sea el ente rector en la gestión del reciclaje de estos residuos y en el empleo de los áridos reciclables.

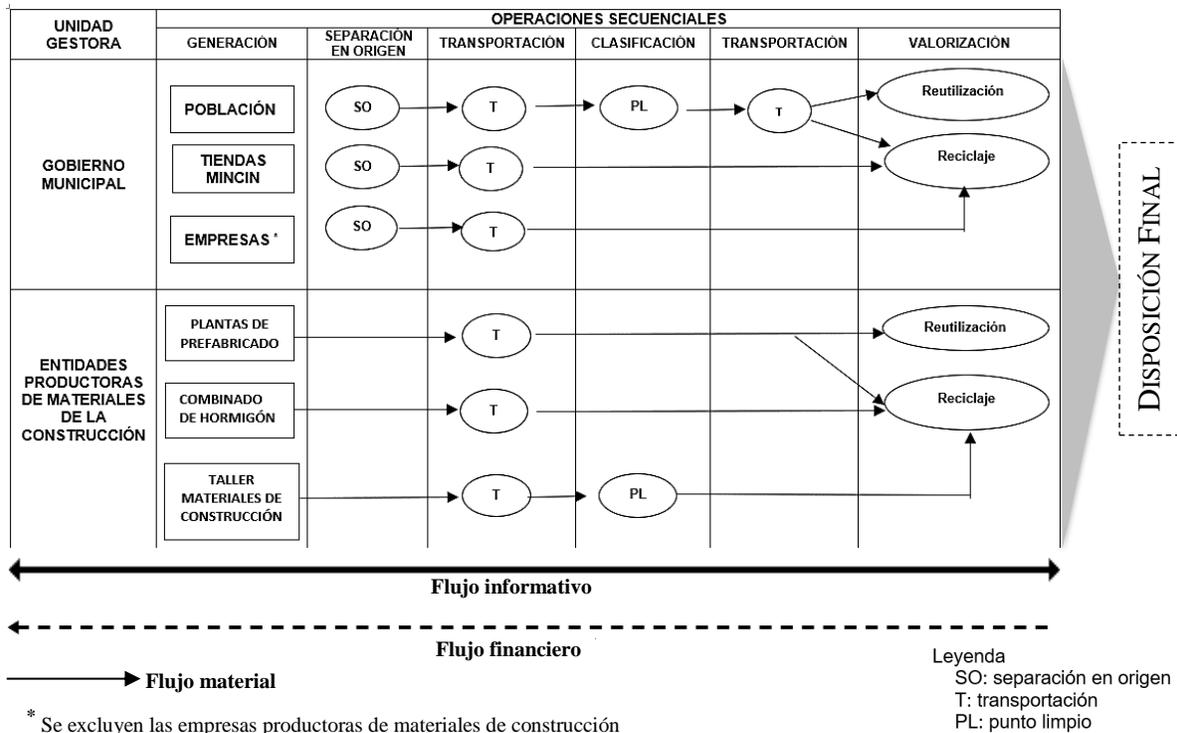


Figura 14. Secuencia operacional para la gestión integral de los RCD.
 Fuente: elaboración propia.

Este esquema además sirve de base para establecer los integradores de la gestión. El modelo de la trayectoria del flujo material, informativo y financiero incluye las diversas variantes de circulación de materiales y niveles de inventario.

El flujo material abarca la ejecución de todas las actividades materiales desde el momento en que se entregan las fracciones de RCD hasta la realización del producto final. Este es el flujo principal o flujo objetivo de la cadena de suministro. El flujo financiero comprende todas aquellas actividades donde ocurre transferencia monetaria que se derivan de las transacciones mercantiles, esto es: egresos e ingresos por la adquisición de los materiales que se transforman en la interacción entre los procesos clave desde los clientes finales hasta los proveedores iniciales. Este flujo tendrá como principal apoyo el proceso de gestión financiera-contable.

El flujo informativo es el que facilita la coordinación y el control de todas las etapas del flujo material y de éste con el flujo financiero; por lo que la efectividad, oportunidad y precisión del flujo informativo serán los factores fundamentales que influirán en la capacidad de respuesta del proceso. Garantiza conocer el nivel de satisfacción del cliente final y clientes intermedios. Por esta razón es que el flujo informativo transitará desde proveedores iniciales a clientes finales y viceversa. Utilizar RCD para producir árido reciclado no siempre garantiza un producto de alta calidad, de ahí la necesidad de la existencia de todos los canales de comunicación para la toma de decisiones oportunas.

Paso 11. Estructuración de la unidad gestora

El gobierno²³ será el responsable de designar la unidad gestora, encargada de fomentar el establecimiento de las infraestructuras necesarias (nuevas o existentes) para llevar a cabo la valorización de los RCD (reutilización, reciclado, o disposición final). Se proponen tres alternativas, la primera considera que la misma empresa que genera el residuo y no posea la tecnología para su aprovechamiento, transporte los residuos al lugar designado por la unidad gestora que los lleva al punto limpio para su posterior valorización; la segunda tiene en cuenta que la misma empresa que genera el residuo y posea la tecnología para su aprovechamiento tenga un punto limpio para su posterior valorización y la tercera propone que para el caso de

²³ Con la nueva ley de organización y funcionamiento de las asambleas municipales del poder popular y de los consejos populares que se discute en el período ordinario de sesiones de la Asamblea Nacional del Poder Popular (ANPP) en diciembre de 2019 ha quedado abierta la posibilidad de establecer entre los municipios las posibilidades de cooperación con otros municipios para la realización de fines comunes dentro de los cuales el accionar de modelos de gestión integral que contribuyan a elevar la capacidad constructiva en cada localidad se potencien con aquellos territorios de mayor estado de avance en esta dirección ANPP 2020. Ley No. 132/2019 De Organización y Funcionamiento de las Asambleas Municipales del Poder Popular y de los Consejos Populares (GOC-2020-48-EX5). In: POPULAR, A. N. D. P. (ed.). República de Cuba: *Gaceta Oficial de la República de Cuba*.

los núcleos domiciliarios, estos realicen la primera separación y luego la empresa correspondiente los recoja y los traslade al punto limpio para su posterior valorización.

Fase 3. Implementación y evaluación de impactos

El objetivo de la tercera fase es implementar el procedimiento y explicar cómo evaluar los impactos. Se definen los impactos y se explican las categorías que se evalúan en cada uno. Se estructura en una etapa y tres pasos. El estudio que se realiza se enfoca desde la producción y transporte de las materias primas hasta la puerta de la entidad (de la cuna a la puerta).

Etapa 5. Implementación

Esta etapa tiene el objetivo de proponer la manera de implementar la gestión considerando las tres alternativas propuestas para estructurar la unidad gestora, para lo cual es necesario puntualizar con los usuarios la alternativa seleccionada según el caso en el que se aplique, teniendo en cuenta la opinión de los trabajadores para proceder a la ejecución (Alvarez-Luna *et al.*, 2016b).

Paso 12. Puntualización para la implementación de la gestión

Se precisa con los usuarios la alternativa de unidad gestora a utilizar por la entidad para implementar la gestión. Se propone la técnica de dinámica de grupo relacionada con la formación de un equipo de trabajo que tenga las condiciones siguientes: cohesión entre los miembros, reconocimiento de un objetivo común y que trabajan para alcanzar un propósito. Está compuesto por especialistas de experiencia en la producción de materiales de construcción. Estos tienen la responsabilidad de mantener una comunicación sistemática con el resto de los trabajadores, así como retroalimentarse de información para la mejora continua.

Paso 13. Ejecución del proceso de reciclaje

Luego de haber identificado la alternativa de gestión, se procede a la ejecución. Se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Definir un responsable del proceso de reciclaje.
- Diseñar un sistema de información.
- Identificar las entidades con reservas productivas y de almacenamiento.
- Asignación de RCD a las entidades que van a moler.

Etapa 6. Evaluación y mejora

Esta etapa tiene el propósito de evaluar económica, social y ambientalmente el procedimiento utilizado a partir de la aplicación de las siguientes herramientas, tomado de (Alvarez-Luna *et al.*, 2018):

1. Análisis de Costos de Ciclo de Vida (CCV).
2. Análisis del Ciclo de Vida Social (CVS).
3. Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

La evaluación de impactos se sugiere para que las organizaciones demuestren la viabilidad del reciclaje. Los directivos pueden solicitar para esta evaluación la cooperación de las instituciones de educación superior, el gobierno y el sector público. Se propone que el responsable del proceso de reciclaje se involucre en la realización de esta etapa.

Paso 14. Evaluación económica

El impacto económico está dado por el análisis de los costos de producción, lo cual se refleja en la ficha de costo de los materiales y productos. Se sugiere la aplicación de la herramienta

Análisis de Costos de Ciclo de Vida (CCV) (Swarr *et al.*, 2011, UNEP-SETAC, 2011), la cual estudia los aspectos e impactos económicos potenciales a lo largo de la vida de un producto. Se propone emplear como indicador fundamental la variación en el costo de producción.

Paso 15. Evaluación social

Para este análisis se tiene en cuenta cómo impacta a la sociedad favorablemente la utilización del árido reciclado en la construcción de productos. Se sugiere la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida Social (CCS) (UNEP-SETAC, 2009), que permite estudiar los aspectos e impactos sociales potenciales a lo largo de la vida de un producto. Como indicador a emplear en esta evaluación se propone: producción adicional del producto teniendo en cuenta el reciclaje.

Paso 16. Evaluación ambiental

Para este tipo de evaluación es importante tener en cuenta los aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo de la vida de un producto, a partir de la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, el uso y la disposición final. Por ello se calculan las emisiones de CO₂ y se determinan las categorías generales de los impactos ambientales que necesitan ser consideradas, las que incluyen 18 categorías intermedias (calentamiento global, agotamiento del ozono estratosférico, radiación ionizante, formación de ozono salud humana, formación de partículas finas, formación de ozono ecosistemas terrestres, acidificación terrestre, eutrofización de agua dulce, eutrofización marina, ecotoxicidad terrestre, ecotoxicidad de agua dulce, ecotoxicidad marina, toxicidad cancerígena humana, toxicidad humana no cancerígena, uso del suelo, escasez de recursos minerales, escasez de

recursos fósiles y consumo de agua) y 3 categorías finales o de daño (salud humana, ecosistema y recursos).

En la investigación se analizan las categorías intermedias principales (calentamiento global, agotamiento del ozono estratosférico, formación de partículas finas, uso del suelo, escasez de recursos minerales, escasez de recursos fósiles y consumo de agua). Para evaluar los resultados de las categorías anteriores se aplica el software profesional Simapro vs-8.0.3.14 (metodología ReCiPe 2016 Midpoint (H) v.1.03) y en el caso de las categorías finales se aplica el método ReCiPe 2016 Endpoint (H) v.1.03.

Se sugiere la aplicación de la herramienta Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (ISO-14040, 2006, Finkbeiner *et al.*, 2006), para estudiar los aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo de la vida de un producto que tiene en cuenta las entradas (materias primas) y salidas (emisiones al aire, agua y suelo) en el proceso. Es preciso tener en cuenta la norma (ISO-14004, 2004) donde se define el objetivo y alcance, inventario de ciclo de vida (ICV), evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV) e interpretación de resultados. Se propone evaluar los indicadores siguientes:

- Por ciento de disminución de las emisiones de CO₂.
- Por ciento de disminución del impacto al calentamiento global.
- Por ciento de disminución del impacto a la formación de material particulado.
- Por ciento de disminución del impacto al agotamiento del ozono.
- Por ciento de disminución del impacto en el uso del suelo.
- Por ciento de contribución a atenuar la escasez de recursos fósiles.

- Por ciento de disminución del consumo de agua.

Paso 17. Plan de mejora

El equipo de trabajo, compuesto por directivos y especialistas de todas las entidades, analiza los resultados de las etapas descritas y detectan cuáles han sido los errores cometidos en el proceso y los asocian a una fase en específico.

Luego se comunican las fallas del procedimiento y se proponen soluciones al nivel pertinente, considerando la posibilidad de reiniciar el procedimiento desde la Fase 1, si se determina que el origen de los errores estuvo en esta. Solo se realizan modificaciones si los problemas radican en su diseño, o se analiza el proceso de aplicación si las dificultades están en las acciones que se llevan a cabo como parte de la ejecución. El análisis de los resultados de la evaluación permite la propuesta de un plan de acciones para mejorar las deficiencias detectadas luego de la aplicación del procedimiento y de esta manera lograr los beneficios esperados. Este paso permite una retroalimentación para la mejora continua del proceso incidiendo en aquellos aspectos que se pueden perfeccionar.

Conclusiones parciales

1. El diagnóstico realizado en la provincia de Villa Clara revela la carencia de una gestión integral de los RCD.
2. El análisis crítico de la gestión de los RCD en la provincia de Villa Clara identifica los problemas principales en el manejo de los residuos caracterizados por recogida de los desechos y traslado directamente a los vertederos; las entidades que generan residuos de hormigón no los aprovechan y se acumulan en los patios al no existir el

marco jurídico legal que contemple su tratamiento, ni tecnologías para reciclar; así como la falta de iniciativa de los actores en general para el aprovechamiento de los RCD, entre otras.

3. Los elementos a tener en cuenta en el modelo conceptual propuesto, para realizar una gestión integral, constituyen la plataforma teórica de cualquier estudio y contribuyen a eliminar las insuficiencias existentes en el país, de manera tal que permita contar con una herramienta para la gestión integral de los RCD.
4. El desarrollo lógico de las fases, etapas y pasos del procedimiento diseñado con el uso correspondiente de herramientas de análisis y técnicas estadísticas proporcionan una guía flexible, adaptada a la situación del territorio.

CAPÍTULO 3

VALIDACIÓN DEL MODELO Y EL PROCEDIMIENTO
PARA LA GESTIÓN INTEGRAL
DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

CAPÍTULO 3. VALIDACIÓN DEL MODELO Y EL PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

En el presente capítulo se validan el modelo y el procedimiento propuestos. Se utiliza el método criterio de expertos. Se realiza el test de Kendall para conocer el criterio de los especialistas de la producción sobre la pertinencia del procedimiento. Finalmente se aplica el procedimiento tomando como referencia el estudio de caso del taller de producción local de materiales de construcción, ubicado en el municipio de Manicaragua. Esta entidad genera volúmenes significativos de RCD y se ha beneficiado con la entrega de equipamiento por el Proyecto Hábitat con vistas a la molienda de áridos.

3.1. Validación del modelo por el método de criterio de expertos

La validación del modelo propuesto para la gestión integral de los RCD, se realiza mediante el método de expertos. Para la aplicación del procedimiento de validación por el método mencionado se siguen los pasos que se relacionan a continuación:

- 1) Selección de los expertos: se realiza a partir de las propuestas de Mendoza (2004) y Jiménez (2017).
- 2) Aplicación de los test de validación: se realiza utilizando los principios del método Delphi.
 - Anonimato de los expertos.
 - No conocer al resto de los componentes de la muestra.
 - Se circula y recircula el instrumento hasta obtener criterios con mayor nivel de consenso.

- 3) Procesamiento de los datos por expertos: se procesan los resultados de la aplicación de los instrumentos anteriores por separado. Se calcula para cada experto la media aritmética, la moda y la mediana para conocer la tendencia central entre criterios. También se determina la desviación estándar, la cual forma parte de la fórmula del Índice de Consenso de Expertos (ICS). Si este valor sobrepasa el 85 % se considera alto. La fórmula de dicho estadígrafo se obtuvo de Salas y Ledón (2009).

Para la selección de los expertos hay que tener en cuenta cinco aspectos:

- Selección *a priori* de todas las personas que pudieran ser consideradas como expertos.
- Aplicación del cuestionario a expertos (ver anexo 13).
- Cálculo del coeficiente de conocimiento o información (K_c) de cada experto.
- Cálculo del coeficiente de argumentación (K_a) de cada experto.
- Cálculo del coeficiente de competencia (K) de los expertos.

La selección a priori de los expertos se realiza teniendo en cuenta la experiencia, nivel académico y científico, y temas de investigación afines con la temática de estudio de los mismos.

El Coeficiente de Conocimiento o Información (K_c) de cada experto se determina a partir de la ecuación:

$$K_c = n (0,1) \tag{7}$$

Donde:

n = grado seleccionado por el experto en la pregunta 3 del cuestionario.

El coeficiente (Kc) de cada experto se obtiene de extraer el valor correspondiente con la fuente de argumentación marcada por el experto en la pregunta 4, según tabla 6.

Tabla 6. Fuentes de argumentación para el cálculo del coeficiente Kc

Fuentes de argumentación o fundamentación	Alto	Medio	Bajo
Análisis teóricos realizados por usted	0,3	0,2	0,1
Experiencia investigativa en el tema	0,5	0,4	0,2
Estudio de trabajos de autores nacionales	0,05	0,05	0,05
Estudio de trabajos de autores extranjeros	0,05	0,05	0,05
Conocimiento del estado del problema en el extranjero	0,05	0,05	0,05
Intuición	0,05	0,05	0,05

Fuente: (Jiménez, 2017).

Este Coeficiente de Argumentación (Ka) de cada experto se determina a partir de la ecuación:

$$Ka = \sum_{i=1}^6 n_i \quad (8)$$

Donde:

n_i = valor correspondiente a la fuente de argumentación “i” (1 hasta 6).

El Coeficiente de Competencia (K) de los expertos:

$$K = 0,5(Kc + Ka) \quad (9)$$

Los resultados se valoran de la manera siguiente:

$0,8 \leq K < 1,0$ Alto

$0,5 \leq K < 0,8$ Medio

$K < 0,5$ Bajo

En la tabla 7 se presentan los resultados de la validación del modelo teniendo en cuenta los aspectos anteriores.

Tabla 7. Expertos seleccionados por el método del criterio de expertos

Expertos	Grado	Kc	Fuentes de argumentación						Ka	K
			1	2	3	4	5	6		
1	5	0,5	0,1	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,8	0,65
2	10	1,0	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,95
3	6	0,6	0,1	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,8	0,70
4	9	0,9	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,90
5	8	0,8	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,85
6	8	0,8	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,85
7	7	0,7	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1,0	0,85
8	9	0,9	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,90
9	9	0,9	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,90
10	6	0,6	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1,0	0,80

Fuente: elaboración propia a partir de (Jiménez, 2017).

Los expertos seleccionados (ocho) son especialistas en los temas de reciclaje de RCD y gestión, con un coeficiente de competencia igual o mayor a 0,8. La tabla 8 resume los datos personales de los expertos seleccionados y muestra que en el proceso de selección hay dos expertos que se eliminan porque el coeficiente de competencia fue menor de 0,8.

Tabla 8. Datos de los expertos seleccionados

Expertos	Título	Experiencia	Centro de trabajo	Cargo
2	Dr. Cs.	Más de 30 años	UCLV	Directivo
4	Dra. C	Más de 25 años	UCLV	Directivo
5	Dra. C	Más de 30 años	UCLV	Directivo
6	Dr. C	Más de 10 años	UCLV	Directivo
7	Dra. C	Más de 10 años	UCLV	Directivo
8	Dr. C	Más de 30 años	UCLV	Directivo
9	Dr. C	Más de 30 años	UMCC	Directivo
10	Dr. C	Más de 30 años	UCLV	Especialista

Fuente: elaboración propia a partir de (Jiménez, 2017).

Luego de conocer los expertos se procede a la aplicación del test de validación, el cual se realiza teniendo en cuenta dos aspectos:

- Aplicación del instrumento para la validación del modelo.
- Procesamiento de los datos por expertos.

Para validar el modelo los expertos son capacitados en su contenido y se procede a la aplicación de los cuestionarios teniendo en cuenta las cualidades del modelo como: la integración de los componentes, el valor metodológico, la importancia social, la lógica de las etapas y fases y la adecuación a la realidad. Todas estas cualidades se evaluaron en una escala ordinal de 1 a 5, donde la 1 es la más baja y la 5 la más alta (ver anexo14).

Una vez aplicados los cuestionarios a los expertos se determina ICS (ecuación 10), así como las medidas de tendencia central y de dispersión.

$$ICS = \left(1 - \frac{S_i}{SL}\right) * 100 \% \quad (10)$$

Donde:

ICS = índice de consenso de los expertos

S_i = desvío estándar del juicio de los expertos para la cualidad “i”

SL = desvío estándar máximo posible

La tabla 9 muestra los resultados sobre la valoración de los expertos respecto a las cualidades del modelo.

Tabla 9. Valoración de las cualidades del modelo

Muestra seleccionada de expertos	Integración de los componentes	Valor metodológico	Lógica de las etapas	Adecuación a la realidad	Importancia social
E1	5	5	4	4	5
E2	4	4	5	4	4
E3	4	5	5	5	5
E4	5	4	5	5	5
E5	4	4	5	5	5
E6	5	4	4	5	5
E7	5	5	5	4	5
E8	5	4	5	5	5
Media (M_y)	4,60	4,35	4,73	4,60	4,86
Mediana (M_e)	5	4	5	5	5
Moda (M_o)	5	4	5	5	5
Desv. estándar (S_i)	0,518	0,518	0,463	0,518	0,354
ICS (%)	89,65	89,65	90,74	89,65	92,93

Fuente: elaboración propia.

Se observa que todas las cualidades valoradas (integración de los componentes, valor metodológico, lógica de las etapas, adecuación a la realidad e importancia social) presentan valores de M_y que oscilan entre 4,35 y 4,86, por lo que se evalúan de muy alto en una escala de 1 a 5. Esto indica que los expertos consideran adecuadas las cualidades del modelo propuesto.

Por su parte M_e y M_o muestran resultados iguales, lo que corrobora un acercamiento aceptable a la normalidad de los resultados de los criterios recopilados por los expertos. Según estos estadígrafos de tendencia central, es muy alta la valoración que le otorgan los encuestados al modelo diseñado.

El test de validación se aplica al circular el instrumento obteniendo valores altos en los estadígrafos de tendencia central y en el ICS. Expresan especial acuerdo con la importancia social y la lógica de las etapas del modelo, por lo que no es necesaria una segunda circulación.

En todos los aspectos el ICS superó el 85 %, lo cual se considera bueno. Por tanto, según el criterio de los expertos, el modelo propuesto queda validado.

3.2. Validación del procedimiento de gestión integral de los RCD por el método de expertos

Para la validación del procedimiento se propone la utilización del método de asociación de los expertos, a través del coeficiente de concordancia de Kendall. La cantidad de expertos que se selecciona se calcula a partir de la ecuación 7, mediante la determinación del coeficiente de competencia (K) (ver anexo 15).

Para la validación del procedimiento, los expertos seleccionados son especialistas en las actividades de la construcción. Fue analizada su experiencia investigativa en el sector de la construcción. Posteriormente fueron capacitados en el contenido del procedimiento y se aplicaron los cuestionarios (ver anexo 16).

Luego de aplicar los cuestionarios a los expertos se procesan para el cálculo. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Test de Kendall

Etapas	Media Rangos
Preparación desarrollo procedimiento	1
Diagnóstico de los RCD	2
Determinación del mercado RCD	3
Planificación y Organización de la GIRCD	4
Implementación	5
Evaluación y mejora	6
Número	8
W de Kendall(a)	1
Chi-cuadrado	40
gl	5
Sig. asintót.	0

Fuente: Elaboración propia.

El coeficiente de concordancia de Kendall toma valor 1 y su probabilidad reflejada por la asíntota de significación arrojó el valor de cero, por tanto, se cumple la regla de decisión, rechazándose la hipótesis nula, lo cual significa que existe asociación entre el juicio de los expertos (ver anexo 17). Todos estuvieron de acuerdo con las secuencias de etapas propuestas para el diseño del procedimiento. Por tanto, según el criterio de los expertos, el procedimiento propuesto queda validado.

3.3. Aplicación del procedimiento a la gestión de los RCD en el Taller de Producción Local de Materiales de Construcción de Manicaragua

En el municipio de Manicaragua existe voluntad del gobierno para potenciar el desarrollo local en la industria de los materiales de construcción, así como algunas experiencias positivas de conjunto con la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas en la introducción de resultados que impactan el mejoramiento de las condiciones de vida de sus habitantes relacionado con el proyecto Hábitat. También existe un fondo habitacional deteriorado que incrementa el consumo de materiales de construcción, parte de esta demanda es asimilada por las producciones del taller de producción local de materiales de construcción, el cual no es capaz de satisfacerla.

En dicho municipio existen recursos naturales como yacimientos de arena, arcilla y otros para la producción de materiales de construcción. Asimismo, cuenta con una cantera de arena de muy buena calidad, con tradición y vasta experiencia en la producción de materiales de construcción al disponer de abundante arcilla roja, utilizada ampliamente para la producción de tejas, ladrillos, rasilla, entre otros artículos empleados en la construcción de viviendas.

A pesar de que Manicaragua es el municipio más rural de la provincia de Villa Clara, las estadísticas muestran que no hay predominio de la tradicional casa de madera y techo de tabla de palma. Del fondo habitacional total, unas 11 543 viviendas, aproximadamente el 45 %, se encuentran en mal estado o regular, por lo que necesitan algún tipo de reparación o remodelación, y por tanto necesitan materiales de construcción para su rehabilitación.

La mayoría de las viviendas son de mampostería y diversos techos (exceptuando el de guano), lo que demanda una elevada cantidad de elementos de pared, cubiertas ligeras y de otros tipos. Esto potencia la fabricación de bloques, ladrillos, tejas, vigas y tabletas, para poder

satisfacer las necesidades de la comunidad; de ahí la importancia de que en este municipio exista un taller de materiales de construcción.

El taller de producción local de materiales de construcción pertenecía hasta el año 2018 a la Empresa Provincial de Construcción y Mantenimiento (EPCM) Agrupación 7. En 2019 se integra a la Empresa Provincial de Mantenimiento Vial con la denominación actual de Unidad Empresarial de Base (UEB) 105 de la Empresa Provincial de Producción Local de Materiales de Construcción. Está ubicado en la carretera Circunvalación, en el municipio de Manicaragua, al sur de la provincia, por el norte: el municipio de Santa Clara, por el este: Placetas y Fomento (municipios de la provincia de Sancti Spíritus), al sur: Trinidad (municipio de la provincia de Sancti Spíritus) y Cumanayagua (municipio de la provincia de Cienfuegos) y por el oeste: Cumanayagua (municipio de la provincia de Cienfuegos) y Ranchuelo (municipio de la provincia de Villa Clara).

La misión de la entidad consiste en brindar servicios de construcción, producción de materiales de construcción para satisfacer necesidades sociales, con calidad y eficiencia, encaminados a la satisfacción de las demandas del municipio; a través de la preparación, rentabilidad, seriedad y responsabilidad del capital humano, que contribuya al desarrollo de la industria de materiales de construcción.

Su visión es ser líder en la producción de materiales de construcción; con un personal técnico y de dirección preparado y comprometido con la política de gestión de la calidad, que amplíe el mercado, al basarse en la confianza, seriedad y responsabilidad de su acción.

La entidad cuenta con 110 trabajadores organizados por un técnico de calidad, un técnico de cerámica y un técnico en cemento.

Fase 1. Caracterización de los RCD en el Taller de Producción Local de Materiales de Construcción de Manicaragua

Etapa 1. Preparación para el desarrollo del procedimiento

Paso 1. Información y capacitación del personal designado

Se presenta al equipo involucrado en la aplicación del procedimiento, los que promueven el intercambio para determinar el nivel de conocimiento de los trabajadores de la entidad en el tema. El equipo de trabajo está compuesto por los facilitadores, quienes además son los encargados de capacitar a los participantes en el taller. Los participantes se conforman por los especialistas del taller.

Se realizan las actividades de intercambio y se conocen sus participantes y funciones.

- Ing. Norly Ramírez Carpio (director de la Agrupación 7)
- Ing. José Luis Bermúdez Ramírez (director de la UEB)
- Oristela Mena Romero (técnico de calidad)
- Reinier Román Pérez (técnico de cemento)
- Eugenio Fariña Vera (técnico de cerámica)

Cuando se culmina la capacitación se aplica una encuesta para conocer su impacto en los participantes; la cual es diseñada a partir de la revisión bibliográfica y tiene en cuenta los objetivos del estudio a realizar, a los que se hace referencia en un encabezamiento, para lograr motivar a los encuestados. Dicha herramienta consta de diez preguntas (ver anexo 18).

Análisis de los resultados de la encuesta

Los resultados de la encuesta se obtienen al procesar la base de datos obtenida, con el software estadístico SPSS 22.0 p/Windows.

Se procesa el 100 % de las encuestas y se les aplica el coeficiente Alfa de Cronbach para conocer su fiabilidad. La fiabilidad trata de asegurar que el proceso de medida de un determinado objeto o elemento en el que se utiliza la escala esté libre de error aleatorio, o lo que es lo mismo, que el valor generado por la escala sea consistente y estable. Mientras que la validez trata de asegurar que lo que se está midiendo sea verdaderamente lo que se pretende medir, la fiabilidad pretende que lo que se está midiendo, sea lo que sea, se haga de forma consistente.

Se obtiene el coeficiente Alpha de Cronbach con un valor de 0,85, lo que representa una escala fiable para la investigación (Vernette, 1995, Mateos, 2012).

El 100 % de los encuestados participó en el taller de capacitación y les resultó beneficioso, así como la utilidad del glosario de términos, documento recibido durante la capacitación; asimismo manifestaron estar sensibilizados con la temática. En la pregunta cinco el 100 % de los encuestados marca el reciclaje como el concepto de trabajo que consideran la mejor iniciativa para aprovechar los residuos y el 60 % también marca la disposición final. Además, a la hora de ordenar los conceptos de trabajo como mejor opción para el aprovechamiento de los residuos generados, el 100 % considera que es el reciclaje la primera opción, la reutilización la segunda, y la última la disposición final, y manifiestan que el taller tiene la posibilidad de cumplir el plan de producción con el aprovechamiento de dichos recursos. El 88 % de los encuestados plantea que en el taller se generan más de 40 m³/mes de residuos y el 12 % entre 20 m³/mes y 30 m³/mes. El 100 % concuerda con que los facilitadores cumplieron los objetivos propuestos.

Los resultados de la capacitación recibida muestran que el 100 % se considera más informado y capacitado que antes para identificar los residuos, los generadores de estos y las posibles alternativas de utilización del árido reciclado; el 63 % aprendió a estimarlos y a evaluar los impactos económicos, sociales y ambientales; el 75 % identifica a los actores y conoce el papel del gestor de los RCD.

Paso 2. Caracterización general de la entidad

Las particularidades del taller de producción local de materiales de construcción referente a la gestión de los RCD son las siguientes:

- Cercanía al yacimiento de la cantera El Hoyo.
- Genera importantes cantidades de residuos de la construcción específicamente los de hormigón debido a que su tecnología es obsoleta y en ocasiones a la mala calidad de la materia prima procedente de la cantera.
- Su proveedor principal es la Empresa de Materiales de Construcción, la cual se encarga de suministrarle piedra de hormigón, granito, polvo de piedra, gravilla y cemento. Estos materiales resultan provenientes de las canteras El Purio, Palenque, el Hoyo y la Fábrica de Cemento Carlos Marx de la provincia de Cienfuegos.
- La asignación de materias primas por parte del MICONS²⁴ resulta insuficiente para cumplir el plan de producción.
- Se valoran otras fuentes de abastecimiento ante el déficit de suministro de materiales y materias primas, como son: la reutilización de los materiales con defectos o

²⁴ Ministerio de la Construcción de Cuba.

dañados, ya sea durante el proceso productivo o mediante su transportación, y las piedras naturales recogidas por el propio taller dentro del municipio y áreas periféricas.

- En el año 2019 al integrarse a la Empresa Provincial de Mantenimiento Vial se trabaja con residuos cerámicos.

Paso 3. Elaboración del informe final

El informe final se presenta en el anexo 19.

Etapa 2. Diagnóstico de los RCD

Paso 4. Identificación de los RCD

La entidad genera residuos de construcción, específicamente los de hormigón.

Paso 5. Determinación de alternativas de utilización de los áridos reciclados

Las posibles alternativas de utilización de los áridos reciclados se presentan en la figura 15.

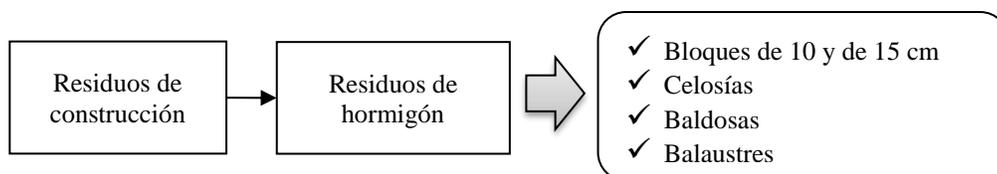


Figura 15. Alternativas de utilización de los áridos reciclados.

Fuente: elaboración propia.

La cantidad generada de RCD se puede procesar a partir de las capacidades productivas instaladas del taller, el cual cuenta con el equipamiento necesario (ver tabla 11).

Tabla 11. Maquinarias del taller de materiales de construcción

Tipo de máquina	Consumo	Rendimiento en 8 h de trabajo
Máquina de bloques	3,5 kW/h	600 bloques
Máquina de bloques	2,5 kW/h	300 bloques
Molino quijada (piedra)	5 kW/h	4 m ³
Molino martillo (polvo de piedra)	5 kW/h	4 m ³
Tamizadora	5 kW/h	4 m ³
Molino bola cemento	5,5 kW/h	600 kg
Moldes para vigas de hormigón		36 U
Moldes para tabletas (0,60·0,30·0,03) m		150 U
Moldes para tabletas (0,88·0,59·0,04) m		100 U

Fuente: elaboración propia a partir de visita al taller.

Se observa la tecnología que posee el taller de materiales de construcción de Manicaragua, su rendimiento en una jornada de trabajo y el consumo de energía en kW/h, así como los moldes.

Fase 2. Diseño de la gestión integral de los RCD

Etapa 3. Determinación del mercado de los RCD

Paso 6. Estimación de la generación de RCD

Se aplica el método de la estimación puntual propuesto por Bedoya (2011):

Los principales materiales posibles a utilizar en el taller para la obtención de áridos reciclados son: los productos defectuosos del proceso de producción, los que sufren daños durante el izaje en el taller y los que se trasladan y descargan en el patio de la tienda del MINCIN. Estos productos pueden estar asociados a cualquiera de sus producciones. Además, se pueden aprovechar los residuos de las piedras extraídas de las canteras.

Se asume que:

- RCo = productos defectuosos del proceso de producción (600 m³) y los que se reciben del MINCIN por daños durante su traslado y descargue (360 m³).

- $RCa = \text{piedra extraída de las canteras (292 m}^3\text{)}$.

Se calcula el indicador de reúso, reciclaje y disposición final por la ecuación (2) y se determina el volumen total de los residuos generados.

Si:

$$RCo = 960 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$RCa = 292 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$D = 0$$

El taller de producción local no cuenta con información referente al volumen de escombros (RCo) existente ni a su generación promedio, pues no se conoce que hayan sido recogidos en el municipio; tampoco tienen registros de la cantidad procesada.

Entonces:

$$TRCD = 960 + 292 = 1\,252 \text{ m}^3/\text{año}$$

Por lo que el volumen estimado de residuos generados es de $1\,252 \text{ m}^3/\text{año}$

Paso 7. Análisis de la demanda de entidades productoras de materiales de construcción

En el territorio el taller de producción local es el que tiene potencialidades de utilización del árido reciclado. Los productos que se pueden fabricar se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Principales producciones del taller

Productos	Observaciones
Ladrillo de barro	macizos
Ladrillo de barro	huecos
Bloques	(10·20·40) cm
Bloques	(10·20·50) cm
Bloque de cerramiento de hormigón	20 cm
Bloque de cerramiento de hormigón	15 cm
Viguetas de hormigón	3,60 m
Viguetas de hormigón	4,10 m
Plaquetas de hormigón	
Marcos de hormigón	ventanas
Marcos de hormigón	puertas
Mesetas de hormigón	con hueco
Mesetas de hormigón	sin hueco
Fregaderos de hormigón	
Lavaderos de hormigón	sencillo
Lavaderos de hormigón	doble
Tanques de agua de hormigón	
Tapas de tanques de agua de hormigón	

Fuente: elaboración propia a partir de la información del taller.

En todas las producciones anteriores se puede emplear el árido reciclado. En este momento solo se emplea en la producción del bloque de 10 cm .

La producción de estos materiales de construcción está en función de la capacidad tecnológica instalada del taller, la que permite fabricar según plan mensual 41 660 ladrillos, 15 000 bloques, 183 bloques de cerramiento de hormigón, 42 viguetas, 660 plaquetas, 229 marcos, 10 mesetas, 13 fregaderos, 6 lavaderos, 13 tanques y 19 tapas para tanques.

Para alcanzar las diversas producciones la entidad recibe una asignación de materias primas por parte del MICONS, la que resulta insuficiente por no abastecer las necesidades del taller, por lo que no constituye su principal fuente de materia prima. En la tabla 13 se refleja el promedio mensual de materiales otorgados al taller.

Tabla 13. Promedio mensual de materias primas suministradas al taller (marzo)

Proveedores	Producto	Cantidad	UM
Armando Mestre (El Purio)	Granito	20	m ³
	Piedra de hormigón	20	m ³
	Arena artificial	5	m ³
Raúl Cepero Bonilla (Palenque)	Polvo de piedra	17	m ³
	Granito	14	m ³
Sergio Soto (El Hoyo)	Arena lavada	38	m ³
Fábrica de cemento Carlos Marx de Cienfuegos	Cemento P-35	65	t

Fuente: elaboración propia a partir de los datos ofrecidos por el taller de producción local.

Sin embargo, la demanda promedio para poder cumplir el plan de producción mensual es de 120 m³ de granito, 70 m³ de arena artificial, 50 m³ de gravilla, 60 m³ de arena lavada, 60 m³ de polvo de piedra y 65 t de cemento. Si se compara la demanda con la asignación de materias primas, se evidencia que existe un déficit de suministro que no cubre la necesidad del taller. Ante esta situación es necesario valorar otras alternativas como es el reciclaje de los residuos generados en el proceso de producción y su transportación, así como las piedras naturales recogidas por los operarios del taller dentro del municipio y en áreas periféricas.

Etapa 4. Planificación y Organización de la GIRCD

Paso 8. Definición de misión y objetivos

La misión está dada en el perfeccionamiento de la interrelación entre actores y procesos que comprenden el ciclo de los RCD. Para cumplirla se establecen los objetivos siguientes:

1. Sensibilizar a todos los actores involucrados en el proceso de reciclaje mediante la capacitación y asesoramiento sistemático.
2. Aprovechar el 100 % de los RCD.
3. Cumplir con el plan de mantenimiento al equipamiento disponible.

De acuerdo con la misión y objetivos se propone planificar la producción de árido reciclado que se empleará en la elaboración del bloque de 10 cm. Esta es la unidad funcional de referencia en este estudio.

Se tiene en cuenta lo siguiente:

- La disponibilidad RCD.
- 97 % de aprovechamiento de los RCD (Tertre, 2007).
- La producción de árido reciclado.
- La dosificación de árido reciclado para la producción del bloque de 10 cm.
- Respetar la dosificación de arena lavada propuesta.

Se denomina como:

- Árido natural (AN): granito, polvo de piedra y arena lavada provenientes de las canteras.
- Árido reciclado (AR): granito y polvo de piedra provenientes del reciclado con la adición de grava procedente de residuos de cantera.

En el paso 6 del procedimiento se determina que $RCD = 1\,252\ m^3/año$.

Se pueden obtener tres tipos de áridos reciclados:

- Polvo de piedra (AR₁).
- Granito (AR₂).
- Grava (AR₃).

Para la producción planificada de árido reciclado se tiene en cuenta lo siguiente:

- La disponibilidad RC.
- La merma en el proceso de transformación del RC en árido reciclado (Tertre, 2007).
En este caso 3 % .
- La estructura porcentual de cada tipo de árido. Del residuo de construcción se puede obtener un 40 % de polvo de piedra y un 60 % de granito. Del residuo de excavación se puede aprovechar el 90 % en la obtención de grava.
- El horizonte de planificación es un año.

Entonces:

$$AR_1 = ((1 - 0,03) \cdot (960 \text{ m}^3/\text{año})) \cdot 0,4 \approx 372 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$AR_2 = ((1 - 0,03) \cdot (960 \text{ m}^3/\text{año})) \cdot 0,6 \approx 559 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$AR_3 = ((1 - 0,1) \cdot (292 \text{ m}^3/\text{año})) \approx 263 \text{ m}^3/\text{año}$$

A partir de los resultados obtenidos, se planifica la producción de bloques de 10 cm con AR, teniendo en cuenta la dosificación²⁵ de materiales propuesta por el taller para AN y AR (ver tabla 14).

Tabla 14. Dosificación para la producción de un bloque de 10 cm con AN y AR

Materiales	AN	AR
Cemento P-35 (kg)	1,39	1,67
Arena lavada (m ³)	0,003	0,001
Polvo de piedra (m ³)	0,0007	0,0007
Granito (m ³)	0,005	0,0025
Grava (m ³)	-	0,0045
Agua (L)	0,72	0,54

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos ofrecidos por el taller de producción local.

²⁵ Es la norma de consumo de materiales en la fabricación de un producto de la construcción.

Se cuenta con disponibilidad suficiente de cemento P-35, arena lavada y agua para la producción de bloques con árido reciclado.

La tabla 15 muestra la planificación de la producción de bloques a partir de la disponibilidad de los diferentes tipos de áridos reciclados.

Tabla 15. Planificación de la producción del bloque con árido reciclado

Tipos áridos reciclados	Producción de AR (m³/año)	Dosificación de AR para bloque 10 cm (m³/u)	Producción máxima posible de bloque con AR (u/año)
(1)	(2)	(3)	(4)
AR ₁	372	0,0007	531 429
AR ₂	559	0,0025	223 600
AR ₃	263	0,0045	58 444

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos ofrecidos por el taller de producción local.

La disponibilidad de polvo de piedra permite alcanzar una producción máxima de 531 429 bloques. Sin embargo, la disponibilidad de granito permite obtener 223 600 bloques como máximo. Técnicamente no es posible la producción de bloques con polvo y sin granito, lo cual indica que el granito resulta más crítico que el polvo. La disponibilidad de grava permite alcanzar una producción máxima de 58 444 bloques. Esta producción es inferior a las anteriormente calculadas debido a que es el árido reciclado el que posee el mayor peso porcentual en la composición de los materiales del bloque (58 %). No es posible producir un bloque con árido reciclado sin la presencia de la grava, que en este análisis constituye el recurso más crítico. Lo anterior conduce a concluir que la producción máxima posible de bloques con áridos reciclados, a partir de la disponibilidad de AR por año, es de 58 444 bloques.

Paso 9. Identificación de actores

Las relaciones sociales entre los actores se ofrecen a través de la aplicación de la herramienta del sociograma, como se muestra en la figura 16.

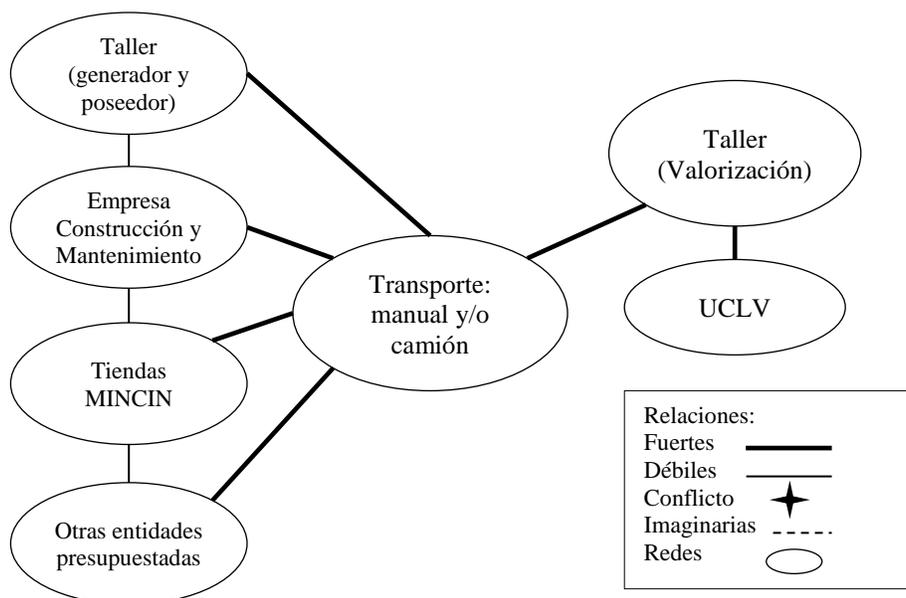


Figura 16. Sociograma de la gestión integral de los RCD.
Fuente: elaboración propia.

La figura representa la realidad social de la gestión de los RCD en el taller de producción local de materiales de construcción, el cual genera los RCD y los transporta de forma manual, utilizando una carretilla, directamente al lugar donde se van a reciclar, pues posee la tecnología para su procesamiento.

La entidad pudiera aprovechar los RCD generados por la Empresa de Construcción y Mantenimiento y la tienda del MINCIN cuyos objetos sociales están orientados, respectivamente, al mantenimiento de las obras sociales y a la venta de materiales de construcción a la población. Se soluciona la relación de conflicto relacionada con Servicios

Comunales (que no recoge los desechos) y el propio taller se convierte en gestor para el aprovechamiento de los residuos.

De esta forma, la Empresa de Construcción y Mantenimiento puede realizar la transportación de los RCD generados por ella misma y por la tienda del MINCIN utilizando tracción animal y/o camiones al taller, convirtiéndose este en el gestor de la valorización de este tipo de residuo. Es importante la relación del taller con la Universidad como centro de asesoramiento y capacitación a través del CIDEM.

Paso 10. Diseño del diagrama de procesos

En el taller se definen tres procesos relevantes: generación de RCD, transportación, y reciclaje. Las actividades que conforman estos procesos y la secuencia operacional se describen en la figura 17.

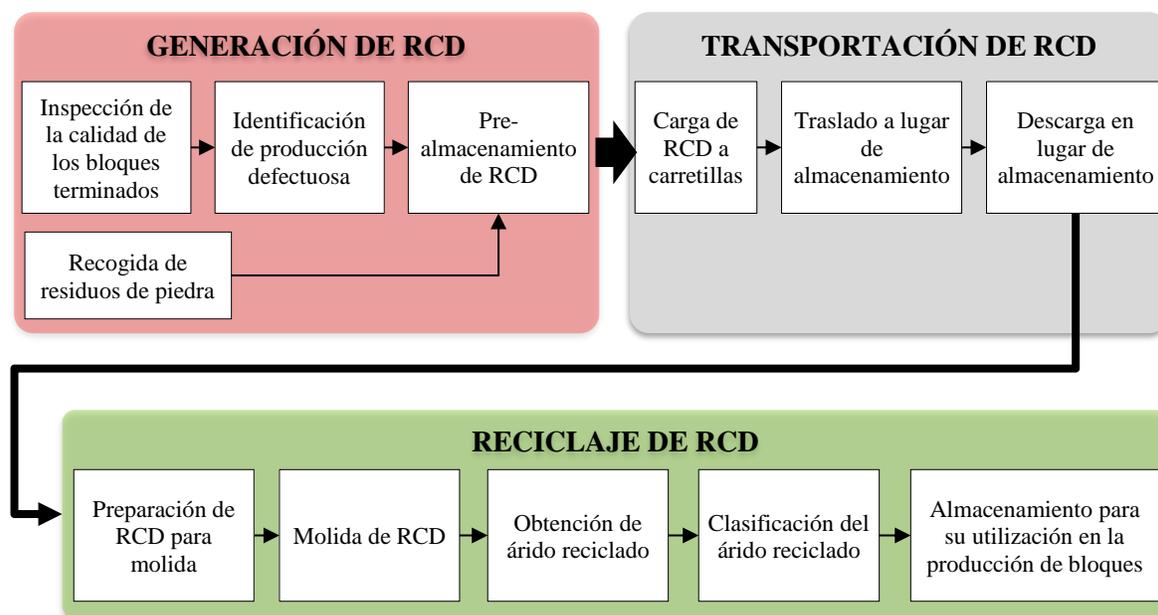


Figura 17. Diagrama de procesos para la gestión integral de los RCD.
Fuente: elaboración propia.

Paso 11. Estructuración de la unidad gestora

En este caso la unidad gestora es el taller de materiales de construcción. La entidad genera el residuo y posee la tecnología para su aprovechamiento.

Fase 3. Implementación y evaluación de impactos

Etapa 5. Implementación

Paso 12. Puntualización para la implementación de la gestión

Se crea el equipo de trabajo compuesto por cinco especialistas referidos en el paso uno, quienes seleccionan la alternativa que corresponde a la entidad. En este caso se elige la variante relacionada con la generación de residuos y poseer la tecnología para su aprovechamiento, así como el punto limpio para su valorización y de esta forma lograr el propósito final de reciclar los RCD.

Paso 13. Ejecución del proceso de reciclaje

Se selecciona como responsable del proceso de reciclaje al técnico de cemento por cumplir con los requisitos siguientes: tiene más de 15 años de experiencia en el sector de la construcción y trabajó durante 7 años en la producción de bloques en el taller. Domina las normas técnicas en la producción de materiales de construcción y está sensibilizado con el aprovechamiento de los residuos de la construcción en la producción adicional de bloques.

Se propone un sistema de información relacionado con la generación de residuos de construcción y su aprovechamiento en el proceso productivo. El anexo 20 muestra los resultados de la recolección y aprovechamiento de residuos de construcción en un mes, para lo cual se seleccionó el mes de marzo. En el anexo 21 se consolida la información anual de estos indicadores.

Etapa 6. Evaluación y Mejora

Paso 14. Evaluación económica

Para determinar el impacto económico se analiza el costo de producción del bloque con AN a partir de la ficha de costos elaborada en la entidad en un período de un año en la cual se reflejan los gastos directos e indirectos, a partir de esta información se elabora la ficha de costo del bloque con AR.

Entre los gastos directos se encuentran los salarios de los operarios, las materias primas y materiales, la energía eléctrica y el transporte, y los indirectos están calculados de acuerdo con los coeficientes aprobados por la Resolución Conjunta 1/2005 del Ministerio de Finanzas y Precios y del Ministerio de Economía y Planificación (MEP, 2005).

Se refleja que el gasto de salario y el gasto indirecto se mantienen igual para las dos alternativas. El gasto de material y transporte disminuye en la alternativa donde se tiene en cuenta el AR, sin embargo, el gasto de energía manifiesta un aumento pues se considera el proceso de molienda (ver tabla 16).

Tabla 16. Ficha de costo de los bloques

Producto	UM	Gasto (\$):					
		Salario	Material	Transporte	Energía	Indirecto	Total
Bloque de 10 AN	U	0,1133	0,2855	0,1778	0,0321	0,1039	0,7126
Bloque de 10 AR	U	0,1133	0,2065	0,0234	0,0963	0,1039	0,5434

Fuente: elaboración propia a partir de los datos suministrados en el taller.

La figura 18 muestra la comparación de los costos de producción teniendo en cuenta los dos escenarios estudiados y el ahorro en la producción del bloque. Es importante destacar que en ambas alternativas el bloque de cumple con las especificaciones de la norma.

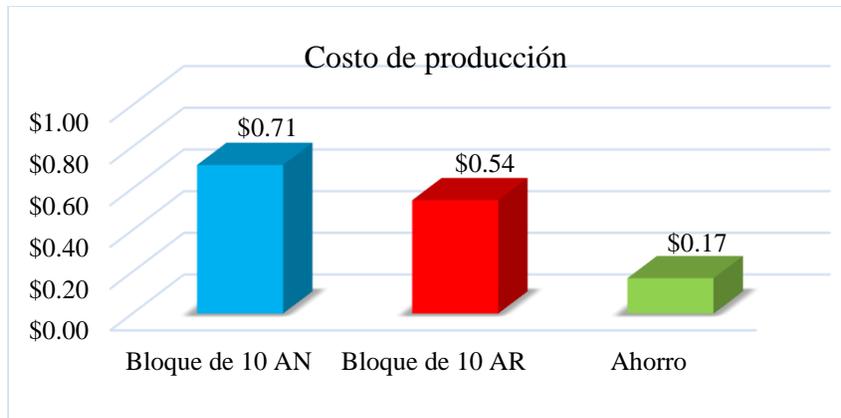


Figura 18. Costo de producción de un bloque de 10 cm.
Fuente: elaboración propia.

El costo de producción se comporta de la siguiente manera: los bloques con AR son más económicos en aproximadamente \$ 0,17 debido a que disminuyen los costos de transportación y de materiales. Si se tiene en cuenta la producción planificada anual de 72 078 bloques de 10 cm, estos con AN costarían producirlos \$ 51 363; sin embargo, con AR costarían \$ 39 167, lo que representa un ahorro de \$ 12 196.

La figura 19 refleja la desagregación del costo de producción en los gastos asociados a la extracción y transporte de materias primas, y los gastos del proceso productivo.

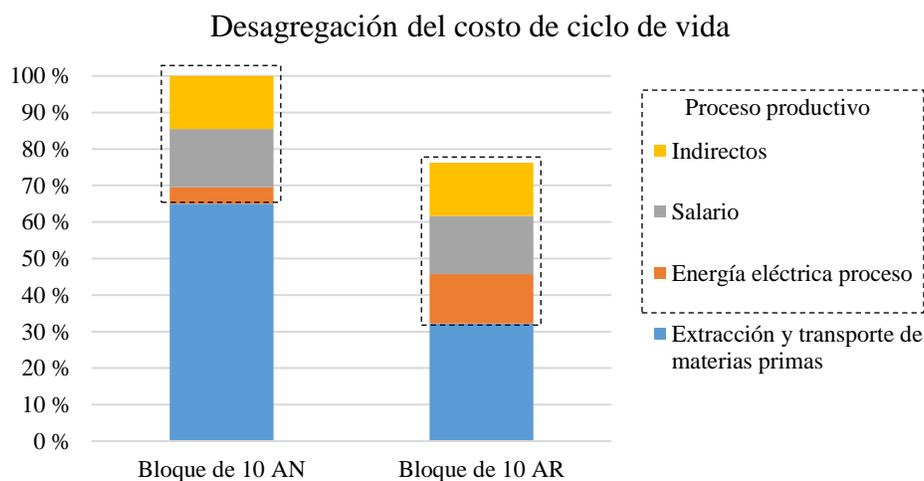


Figura 19. Desagregación del costo de producción de un bloque de 10 cm .
Fuente: elaboración propia.

El gasto que más influye en el ciclo de vida del bloque es la extracción y transporte de materias primas, seguida del salario y de la fuerza de trabajo. Aunque existe un incremento en el gasto de energía eléctrica del bloque con AR, este afecta en menor medida el costo total del producto debido a que se gasta menos en material y transporte.

Se incorpora al análisis del costo de producción acometer la inversión de una planta especializada en AR, teniendo en cuenta tres tecnologías:

1. Planta móvil.
2. Planta fija.
3. Planta semimóvil.

De acuerdo con los resultados anteriores:

- Costo unitario del bloque de 10 cm AN = \$ 0,7126.
- Costo unitario del bloque de 10 cm AR = \$ 0,5434.
- Diferencia de ahorro unitario de \$ 0,1692.

Se evalúa a cuánto asciende como máximo la inversión de la planta con AR en cualquiera de las tres variantes de modo que se compense con el ahorro operativo estimado (ver tabla 17).

De acuerdo con los supuestos siguientes:

1. Ahorro anual estimado = \$ 9 888
2. Tasa de descuento = 12 %
3. Vida útil estimada = 10 años

Costo de inversión equivalente = \$ 55 869

Se mantienen las diferencias de los costos operativos estimados *a priori* en:

1. Gasto de material (ahorro).
2. Gasto de transporte (ahorro).
3. Gasto de energía (desahorro).

Tabla 17. Flujos de efectivo estimados.

Conceptos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ahorro anual, (\$)	9 888	9 888	9 888	9 888	9 888	9 888	9 888	9 888	9 888	9 888
Costo de inversión, (\$)	55 869									
Tasa de descuento	0,12									

Fuente: elaboración propia a partir de los supuestos asumidos para el taller.

En la tabla 17 se observa que se puede incurrir en una inversión de hasta \$ 55 869, siendo una opción viable aprovechar los RCD para la producción de áridos reciclados como materia prima para materiales de construcción.

Paso 15. Evaluación social

Para determinar el impacto social se analiza cómo impacta a la sociedad el proceso de producción de los bloques bajo los dos escenarios (AR y AN), a partir de la producción adicional. Para ello se ha tomado en cuenta la planificación de la producción de bloques con AR que es de 58 444 U/año.

Se estima la capacidad productiva del bloque para el año 2017, según datos suministrados por el taller de producción local. La tabla 18 muestra la producción de bloques de 10 cm, según el plan y real de cada mes.

Tabla 18. Producción mensual de bloques de 10 cm (Producción total)

Meses	UM	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Plan	MU	15	15	15	15	15	15
Real	MU	1,3	4,3	8,9	10,5	12,24	7,42
Meses	UM	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Plan	MU	15	15	15	15	15	15
Real	MU	9	4,5	5,5	5,3	3,9	2,42

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del taller.

Se muestran las producciones totales del taller para el período de enero a diciembre de 2017. Como se puede observar, el plan de producción mensual es coincidente en todos los meses e igual a 15 000 unidades. En este sentido, la capacidad productiva es de 180 000 U (15 000 U/mes) y el real anual de 75 280 U, lo que tributa a un cumplimiento del plan en un 42 %, debido principalmente al insuficiente suministro de materias primas al taller, como es el caso del granito, principal producto en la fabricación de bloques, y a las discordancias entre el plan asignado y la capacidad productiva de la entidad.

Este incumplimiento provoca que se dejen de entregar al MINCIN por concepto de venta a la población un total de 104 720 bloques, lo que representa un impacto social negativo, ya que hubiesen podido destinarse a la construcción y reparación de viviendas para personas con escasos recursos.

La situación del taller hubiera mejorado bajo el supuesto de lograr una producción adicional de 58 444 bloques fabricados con árido reciclado, en cuyo caso se hubiera incrementado el nivel de cumplimiento del plan en un 32 % revirtiéndose en una mayor satisfacción de la población.

Paso 16. Evaluación ambiental

Para determinar el impacto ambiental se calculan las emisiones de CO₂ por cada tipo de bloque (AN y AR) (ver anexo 22).

Las emisiones totales de la comparación del bloque de 10 cm con AN y con AR se observan en la tabla 19.

Tabla 19. Comparación de emisiones totales (bloque de 10 cm con AN y con AR)

Emisiones	Bloque AN (kg CO₂/kg)	%	Bloque AR (kg CO₂/kg)	%
Emisiones proceso productivo	2,44	73	1,89	68
Emisiones producción materiales	0,89	27	0,89	32
Arena	0	0	0	0
Grava	0	0	0	0
Granito	0	0	0	0
Polvo	-	-	0	0
Cemento	0,89	-	0,89	-
Emisiones totales	3,33	100	2,78	100

Fuente: elaboración propia

Se demuestra que las emisiones de CO₂ del bloque de 10 cm con AR (68 %) son menores en un 5 % que las del bloque de 10 cm con AN (73 %), esto se debe principalmente a la disminución de las emisiones del proceso productivo por concepto de transporte de materiales debido al reciclaje. Las emisiones totales del bloque con AR (2,78) representan el 84 % respecto al AN (3,33).

Los resultados se muestran en el anexo 23, en el que se demuestra que el bloque con AR posee mayor impacto en todas las categorías intermedias principales (calentamiento global, agotamiento del ozono estratosférico, formación de partículas finas, uso del suelo, escasez de recursos minerales, escasez de recursos fósiles y consumo de agua) y en las 3 categorías finales. El anexo 24 presenta el inventario de entradas y salidas del sistema de producción de los bloques de hormigón de 10 cm.

En las categorías de impacto se muestra el efecto en las principales categorías tomadas en cuenta en este estudio. Por su importancia se analiza el Potencial de calentamiento global (GWP, *Global Warming Potential*) para un período de proyección de 100 años expresado en

kilogramos de CO₂ equivalente (kg CO₂-eq)²⁶; y la formación de material particulado, expresada en kg PM10eq²⁷ (ver anexo 25). Los valores de los impactos totales de un proceso o producto reflejan que en cuanto mayor sea el número, mayor será el impacto ambiental.

En la figura 20 se observa un gráfico de barras que compara los principales efectos de las categorías de impacto del bloque de 10 cm producido con AN y con AR. En el calentamiento global promedio: el bloque producido con AN afecta un 11 % más que el fabricado con AR; en el agotamiento del ozono: el bloque producido con AN contribuye más (9 %) que el fabricado con AR; en la formación de partículas finas: el bloque producido con AN afecta un 33 % más que el fabricado con AR; en el uso del suelo: el bloque producido con AN afecta un 5 % más que el fabricado con AR; en la escasez de recursos minerales: el bloque producido con AN afecta un 3 % más que el fabricado con AR; en la escasez de recursos fósiles: el bloque producido con AN afecta un 10 % más que el fabricado con AR; en el consumo de agua: el bloque producido con AN afecta un 22 % más que el fabricado con AR.

²⁶ La unidad de medida kg de CO₂eq expresa en CO₂ las emisiones de todos los gases de efecto invernadero usando el potencial de calentamiento global de cada uno respecto a este gas. Por ejemplo: el metano (CH₄) es 25 veces más dañino que el CO₂, por tanto, un kg de metano equivale a 25 kg de CO₂eq. El anexo 23 muestra el potencial de calentamiento global de los principales gases de efecto invernadero.

²⁷ La unidad de medida PM10eq representa una materia de finas partículas con un diámetro menor de 10 µm (PM10) contentivo de una compleja mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas. Aerosoles PM10 secundarios se forman en el aire a partir de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), amoníaco (NH₃), y óxidos de nitrógeno (NO_x), entre otros.

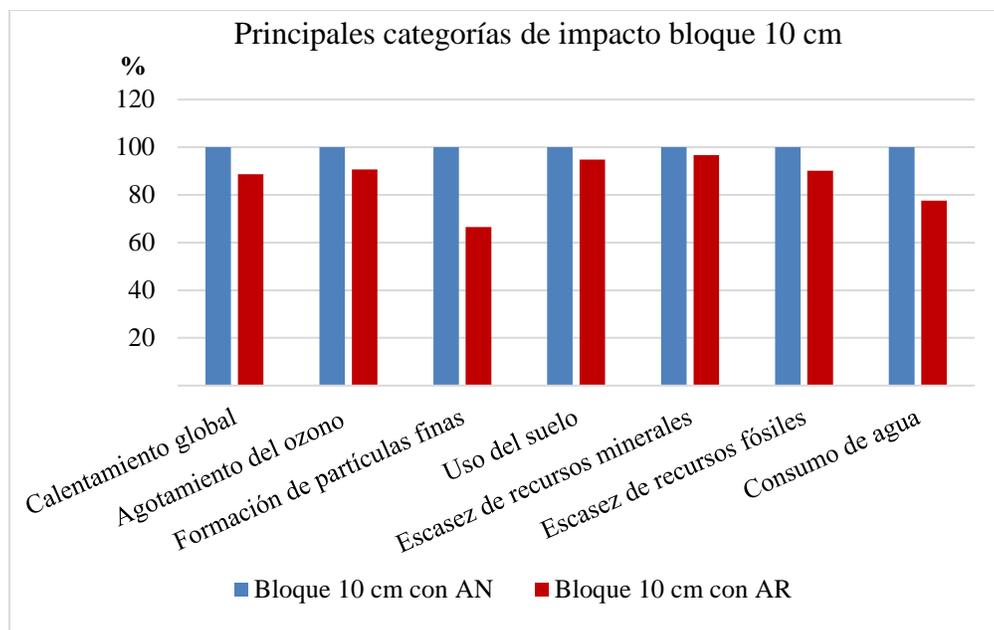


Figura 20. Categorías de impacto del bloque de 10 cm con AN y AR.
Fuente: elaboración propia.

En las categorías de daños, la producción de bloques de 10 cm con AN tiene un mayor impacto ambiental que los fabricados con AR debido al impacto en la explotación de las canteras, lo que significa mayores daños a la salud humana en un 26 %, al ecosistema en un 11 % y a los recursos en un 6 % (ver figura 21).

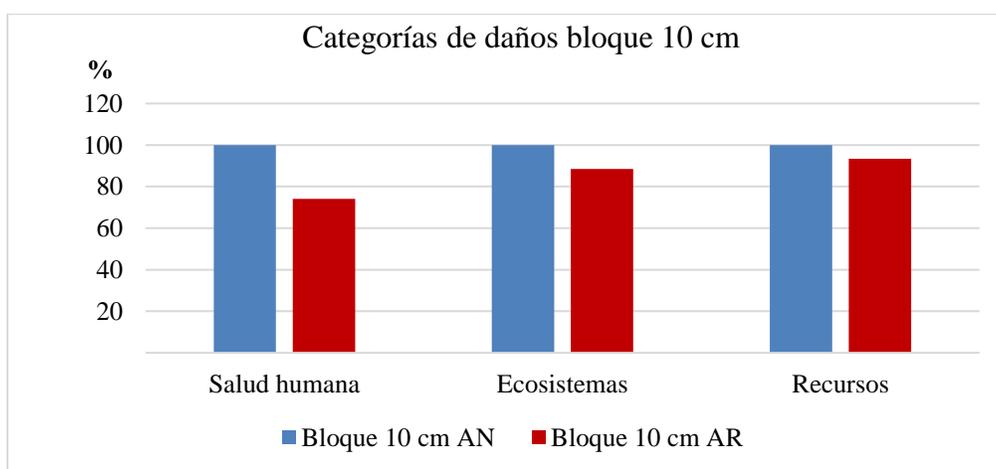


Figura 21. Análisis comparado de las categorías de daños del bloque de 10 cm con árido natural y con árido reciclado.
Fuente: elaboración propia.

Paso 17. Plan de Mejora

Se propone una serie de acciones para realizar correctamente la mejora a partir de lo que se estipula en el procedimiento:

- ✓ Crear un grupo de trabajo responsable de supervisar la ejecución del procedimiento relacionado con el tratamiento de los residuos de construcción generados, así como se debe crear la figura del responsable de residuos en la obra, quien controla el cumplimiento del procedimiento y los pasos contenidos en este, toma decisiones para la mejor gestión de los residuos y establece medidas preventivas para minimizar y reducir las cantidades producidas. También él debe garantizar que el personal implicado conozca sus responsabilidades respecto a la gestión y que las ejecute de forma correcta.
- ✓ El responsable de los residuos debe elaborar mensualmente un informe de supervisión durante el tiempo de producción, el cual hará llegar al responsable de la gestión de residuos. Este informe deberá constar de la siguiente información:
 - Cumplimiento de los pasos propuestos en el procedimiento para ese período correspondientes a las fases de gestión del modelo: generación, separación, transporte, aprovechamiento, disposición final.
 - Cuantificación de los residuos que han sido transferidos para su posterior separación y que deben ser convenientemente registrados en las operaciones de transporte.
- ✓ Controlar el proceso de información y capacitación a los trabajadores.

- ✓ Controlar la cantidad de RCD que se entrega, y qué porcentaje de estos se utiliza nuevamente en el proceso productivo.

Conclusiones parciales

1. El modelo propuesto para la gestión de los RCD en Villa Clara fue validado por el método de expertos con un índice de consenso del 85 % .
2. El coeficiente de concordancia de Kendall demuestra asociación entre el juicio de los expertos en el orden de las etapas del procedimiento.
3. El estudio de caso del taller de producción local de materiales de construcción de Manicaragua arrojó que solo se reciclan residuos de construcción, específicamente los de hormigón cuya generación asciende a 1 252 m³/año. Si se producen bloques de 10 cm usando estos residuos (AR), se puede obtener un ahorro de \$ 0,17/U respecto a los producidos con AN.
4. El indicador aplicado en la evaluación social muestra la producción adicional de 58 444 bloques de 10 cm producido con AR respecto al fabricado con AN.
5. Los indicadores aplicados en la evaluación ambiental revelan que el bloque de 10 cm producido con AN afecta más al calentamiento global en un 11 %, contribuye en mayor medida a la formación de partículas finas en un 9 %, al agotamiento del ozono en un 33 %, y produce mayores daños a la salud humana en un 26 %, al ecosistema en un 11 %, y a los recursos en un 6 % .

CONCLUSIONES

1. El estudio teórico-referencial realizado evidencia la amplia base conceptual relacionada con la gestión de los residuos de construcción y demolición donde prevalece como forma de tratamiento el reciclaje, sin que exista consenso respecto a las etapas para realizarla. Existen experiencias aisladas de gestión de los RCD, sin embargo, no están sistematizadas, ni debidamente generalizadas ante la necesidad de perfeccionar la gestión integral de RCD en Cuba.
2. En los modelos estudiados para la gestión de los RCD prevalece el enfoque técnico y coinciden en minimizar los residuos a partir de las normativas establecidas y determinar su gestión mediante la reutilización y el reciclaje; sin embargo, adolecen de un enfoque integrador debido a que no conciben los estudios de demanda, la evaluación de los impactos y no se realiza el seguimiento de la gestión de los RCD, como forma de mejora continua de los procesos involucrados.
3. El diagnóstico realizado a los municipios de Santa Clara, Manicaragua, Sagua la Grande y Remedios, de la provincia de Villa Clara, evidencia que no existe gestión integral de los RCD; aunque hay un alto potencial estimado en 80 137 m³ anuales de residuos generados por las principales entidades del sector de la construcción y los núcleos domiciliarios.
4. El modelo propuesto para la gestión integral de los RCD en Villa Clara, validado por el método de expertos con un índice de consenso mayor del 85 %, constituye la plataforma teórica de cualquier estudio de la provincia o del país; explica las relaciones entre las dimensiones (generación, aprovechamiento y evaluación), las fases (caracterización, diseño de la gestión y evaluación de impactos), así como los

actores (sector público, sector privado y cooperativas, instituciones de educación superior, gobierno y la población).

5. El procedimiento que operacionaliza el modelo es flexible, adaptable a las particularidades de cada territorio y/o entidad e integra el herramental metodológico para la gestión integral de las empresas del sector de la construcción. Sus etapas y el orden, se corroboran a través de la aplicación del test de Kendall que fue altamente significativo y se valida por el estudio de caso en el taller de producción de materiales de construcción de Manicaragua, el cual evidencia que los bloques de 10 cm fabricados con árido reciclado tienen mayor impacto económico, social y ambiental que los bloques fabricados con árido natural.

RECOMENDACIONES

1. Incluir en las normativas cubanas existentes de los RSU especificaciones referentes a los RCD, relacionadas con el almacenamiento, recolección, transportación, tratamiento y disposición final para regular el uso de estos residuos en la producción de áridos reciclados.
2. Utilizar el modelo de gestión integral de los RCD como plataforma teórica de cualquier investigación de este tipo de residuos y generalizar el procedimiento que lo operacionaliza en el sistema empresarial, adecuándolo a las particularidades de los territorios.
3. Realizar estudios de mercado para la comercialización de materiales de construcción con áridos reciclados en aras de lograr el lanzamiento al mercado de productos ecológicos y más económicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA-REYES, M. 2010. *Propuesta para la implementación de planta de tratamiento de residuos de construcción en el área metropolitana de Bucaramanga*. Especialista en Gerencia e Interventoría de obras civiles, Universidad Pontificia Bolivariana.
- AGUILAR, A. 2016. Reciclado de materiales de construcción. *Revista Residuos*, 13-25.
- ALAEJOS-GUTIÉRREZ, P. 2005. Recomendaciones para la utilización de árido reciclado en hormigón estructural. 12.
- ALDANA, J. & SERPELL, A. 2012. Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: un meta-análisis. *Revista de la Construcción*. Escuela de Construcción Civil Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.
- ALTABELLA, J., COLOMER-MENDOZA, F., GALLARDO-IZQUIERDO, A. & ALBEROLA, C. 2013. Aprovechamiento de residuos inertes para la construcción, explotación y clausura de rellenos sanitarios. *V Simposio Iberoamericano de Ingeniería de residuos sólidos*. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.
- ALVAREZ-LUNA, M. & CASTILLO, G. B. 2018. Algunas consideraciones teóricas sobre el aprovechamiento de los Residuos de Construcción y Demolición en la producción de árido reciclado. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales (mayo 2018)*. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2018/05/produccion-arido-reciclado.html/hdl.handle.net/20.500.11763/caribe1805produccion-arido-reciclado>.
- ALVAREZ-LUNA, M., CASTILLO, G. B., DOMÍNGUEZ, E. R. & FERNÁNDEZ, L. M. 2018. Aplicación de ACV en bloques de hormigón para la medición de impactos mediante el uso de áridos naturales y reciclados. *Revista Centro Azúcar*, 45, 14-20.
- ALVAREZ-LUNA, M., CASTILLOS, G. B. & FERNÁNDEZ, L. M. Experiencia de las provincias centrales en la gestión integral de los RCD. I Convención Científica Internacional 2017. XI Simposio Internacional de Estructuras, Geotecnia y Materiales de la Construcción, 2017a Cayo Santa María, Villa Clara, Cuba. Editorial "Samuel Feijóo", 15-31.

- ALVAREZ-LUNA, M., CASTILLOS, G. B. & FERNÁNDEZ, L. M. Procedimiento de gestión integral de los residuos de construcción y demolición en Santa Clara. I Convención Científica Internacional 2017. XI Conferencia Internacional de Ciencias Empresariales, 2017b Cayo Santa María, Villa Clara, Cuba. Editorial "Samuel Feijóo", 11-25.
- ALVAREZ-LUNA, M., CASTILLOS, G. B., FERNÁNDEZ, L. M. & GARCÍA-JACOMINO, J. The market of the CDW in Villa Clara province. II Convención Científica Internacional 2019. Conferencia Internacional de Producción y Uso Sostenible del Cemento y Hormigón, 2019 Cayo Santa María, Villa Clara, Cuba. Editorial "Samuel Feijóo", 35-41.
- ALVAREZ-LUNA, M., CASTILLOS, G. B. & PINEDA, M. Modelo para la gestión integral de los áridos reciclados en la provincia de Villa Clara. 10ma Conferencia Internacional de Ciencias Empresariales y 3ra Convención Internacional de Estudios Turísticos, 2016a Cayo Santa María, Villa Clara, Cuba. Editorial "Samuel Feijóo", 7-19.
- ALVAREZ-LUNA, M., CASTILLOS, G. B. & SHIHEPO, J. L. Implementación del Modelo para la Gestión Integral del Reciclaje de los RCD en el Taller de Eco-Materiales de Manicaragua. 5ta Conferencia de Ecomateriales, 2016b Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba Ecuador. 27-39.
- ALVAREZ-LUNA, M., HERNÁNDEZ, K. R. & CASTILLO, G. B. 2017c. *Procedimiento para la gestión integral de los RCD en Cuba*, España, Editorial Académica Española.
- ALVAREZ-MONZÓN, Y. 2013. *Estudio de la fracción fina de áridos reciclados como árido para la construcción*. Ingeniería Civil, Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- ANPP 1997. Ley N° 81 del medio ambiente. Cuba: *Gaceta Oficial de la República de Cuba*.
- ANPP 2020. Ley No. 132/2019 De Organización y Funcionamiento de las Asambleas Municipales del Poder Popular y de los Consejos Populares (GOC-2020-48-EX5). In: POPULAR, A. N. D. P. (ed.). República de Cuba: *Gaceta Oficial de la República de Cuba*.

- ANRBV 2010. Ley de Gestión Integral de la Basura de la República Bolivariana de Venezuela. Caracas, Venezuela: *Gaceta Oficial de la Asamblea Nacional*.
- BAPTISTA, J. 2017. *Procedimiento para la gestión del reciclaje de residuos sólidos urbanos en el municipio de Cabinda, República de Angola*. Doctor en Ciencias Económicas, Tesis Doctoral, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- BARRA, M., APONTE, D., PIELARISI, S. H., VALLS, S. & VAZQUEZ, E. 2013. Utilización de áridos reciclados, una oportunidad frente a la situación actual. *Recerca i Innovació a L'escola de Camins*, 3.
- BARRA, M., APONTE HERNÁNDEZ, D. F., PIELARISI, S. H., VALLS DEL BARRIO, S. & VÁZQUEZ RAMONICH, E. Utilización de áridos reciclados. Una oportunidad frente a la situación actual. Jornada de Recerca i Innovació a l'Escola de Camins, 2011. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Enginyers, 3.
- BEDOYA, A. B. 2011. *Propuesta para el manejo integral de los residuos de la construcción y la demolición*. Ingeniería Ambiental, Trabajo de Diploma, Universidad de San Buenaventura.
- BELMONTE-SÁNCHEZ, A. 2009. *Análisis de la reutilización de residuos procedentes de la industria de silestone en la fabricación de mezclas bituminosas*. Doctor en Ciencias tesis Doctoral, Universidad de Granada.
- BENLLOCH, L. F. 2014. *Diseño de un sistema integral de gestión de la calidad, medio ambiente y riesgos laborales*. Licenciado en Gestión y Administración Pública Trabajo de Diploma, Universidad Politécnica de Valencia.
- BERMEJO URZOLA, G. A. 2016. *Lineamientos para la gestión ambiental de residuos de construcción y demolición (RCD) generados en Barranquilla DEIP*. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales.
- BERNARDO, M., CASADESÚS, M., KARAPETROVIC, S. & HERAS, I. 2009. How integrated are environmental, quality and other standardized management systems? An empirical study. *Journal of Cleaner Production*, 17, 742-750.

- BIZCOCHO TOCÓN, N. 2014. *Aplicación del análisis de ciclo de vida a la gestión de los residuos de construcción*. Doctor en Arquitectura, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.
- BONMATÍ, A. & GABARELL, X. 2008. Conceptos Generales sobre residuos. *Evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica*. Universidad de Girona, España.
- BRITO, J., AGRELA, F. & SILVA, R. V. 2019. Legal regulations of recycled aggregate concrete in buildings and roads. *New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete*. Elsevier.
- CABELLO-RODRÍGUEZ, J. 2016. *Estudio preliminar para el uso de áridos reciclados en la normativa cubana*. Ingeniería Civil, Trabajo de Diploma, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- CALDERÓN, Á. N. 2014. *Uso y fomento del árido reciclado en hormigón estructural como oportunidad de mejora medioambiental y económica. Aplicación a la Comunidad Autónoma de La Rioja*. Doctor en Ciencias Técnicas Tesis Doctoral, Universidad de la Rioja.
- CANU, M. E. 2017. *Economía Circular y Sostenibilidad. Nuevos enfoques para la creación de valores*, Amazon.com, CreateSpace.
- CARRASCO MONTESDEOCA, R. B. 2018. *Aplicación del uso de los residuos de construcción para la fabricación de bloques de hormigón en la ciudad de Riobamba, análisis de costo e impacto ambiental*. PUCE.
- CARRASCO, R. 2018. *Aplicación del uso de los residuos de construcción para la fabricación de bloques de hormigón en la ciudad de Riobamba, análisis de costo e impacto ambiental*. Magíster en Arquitectura y Sostenibilidad Tesis de Magíster, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- CASADO, L. F. 2012. *Mejoras tecnológicas en el reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD)*. Universidad Politécnica de Madrid.
- CERQUEIRA, N., DE SOUZA, V., DE AZEVEDO, A., RABELLO, A., VICENTE, R., CAMERINI, A. & GOMES, A. R. Evaluation of the Quality of Concrete with Waste

of Construction and Demolition. TMS Annual Meeting & Exhibition, 2018 Phoenix, USA. Springer, 515-521.

CITMA 2016. Estrategia Ambiental Nacional 2016 al 2020. Cuba.

CLARK, C., JAMBECK, J. & TOWNSEND, T. 2006. A review of construction and demolition debris regulations in the United States. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36, 141-186.

COLOMINA, A. F. 2005. La gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el desarrollo sostenible local. *Revista Cubana de Química*, 17, 35-39.

COLOMINA, A. F. & SÁNCHEZ-OSUNA, M. 2007. Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. *In: COMUNALES* (ed.). La Habana, Cuba: ONUDI.

COURET, D. G. 2018. Para el logro de la sustentabilidad y la resiliencia del medio construido, es necesario cambiar los patrones de vida y estilos de desarrollo. *Revista científico-popular trimestral CUBASOLAR*, 10-17.

CRESPO, W. G. 2014. *Evaluación de eco-eficiencia en la cadena productiva de un edificio Gran Panel IV Modificado, en el Reparto Van Troi II de Caibarién*. Ingeniería Civil, Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

DECRETO-201 1995. Infracciones contra el ornato público y la higiene comunal en la ciudad de La Habana. Cuba: *Gaceta Oficial de la República de Cuba*.

DENG, X., LIU, G. & HAO, J. A study of construction and demolition waste management in Hong Kong. 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. IEEE, 1-4.

DÍAZ, I. M., RODRÍGUEZ., J. M. & RODRÍGUEZ, S. B. 2003. *Esquema de trituración de planta para el reciclaje de escombros de la ciudad de Santa Clara*. Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

DORTICÓS, O. 1975. LEY No. 1288.

https://www.mindus.gob.cu/sites/default/files/Documentos/Ley%201288%20%201975%20%20Ley%20de%20Materias%20Primas_3.pdf; Ministerio de Industrias.

- DPSC-VC 2016. Manual de procedimientos y normas técnicas para la actividad de higiene comunal y ambiental. La Habana: Subdirección Provincial de Higiene y Necrología.
- DPV-VC 2018. Informe Oficial a la Dirección Nacional de Vivienda. Villa Clara.
- DRUCKER, P. 1996. *La Gestión en un tiempo de grandes cambios*, Madrid, España, EDHASA.
- EKANAYAKE, L. L. & OFORI, G. 2004. Building waste assessment score: design-based tool. *Building and Environment*, 39, 851-861.
- EMC-VC 2018. Balance General Anual. In: ESTADÍSTICA (ed.). Villa Clara.
- ENCALADA, S. F. C. & CHÁVEZ, P. M. L. 2011. *Incidencia de la gestión administrativa de la biblioteca municipal "Pedro Moncayo" de la ciudad de Ibarra en mejora de la calidad de servicios y atención a los usuarios en el año 2011. Propuesta alternativa*. Licenciado en la Especialidad de Bibliotecología Trabajo de Diploma, Universidad Técnica del Norte.
- ESGUÍCERO, F. J., MANFRINATO, J. W. D. S. & MARTINS, B. L. 2009. Use of construction and demolition residues in new material for construction. Orlando, Florida U.S.A.
- ESPASA-CALPE. 2008. Conceptos de gestión.
- FERNÁNDEZ, L. M. & ALVAREZ-LUNA, M. One possible option to promote the local sale program for construction materials: recycled concrete. II Convención Científica Internacional 2019. Conferencia Internacional de Producción y Uso Sostenible del Cemento y Hormigón, 2019 Cayo Santa María, Villa Clara, Cuba. Editorial "Samuel Feijóo", 12-18.
- FERNÁNDEZ REY, L. 2014. La obsolescencia programada: sus consecuencias en el ambiente y la importancia del consumo responsable.
- FERNÁNDEZ, Y. B. & GÓMEZ, R. R. 2010. Procedimiento para la gestión de residuos generados en instalaciones hoteleras cubanas/Procedure for management of studies started in Cuban hotel facilities. *Retos Turísticos*, 9.

- FINKBEINER, M., INABA, A., TAN, R., CHRISTIANSEN, K. & KLÜPPEL, H.-J. 2006. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *The international journal of life cycle assessment*, 11, 80-85.
- FRAGUELA-FORMOSO, J., CARRAL COUCE, L., IGLESIAS RODRÍGUEZ, G., CASTRO PONTE, A. & RODRÍGUEZ GUERREIRO, M. J. 2011. La integración de los sistemas de gestión. Necesidad de una nueva cultura empresarial. *Dyna*, 78, 44-49.
- GARCÍA-ALONSO, J., ALVAREZ-LUNA, M. & CASTILLO, G. B. 2014. *Estudio técnico-económico del uso de áridos reciclados en la producción de hormigón*. Ingeniero Civil Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- GARCÍA, I. B. 2006. Residuos de Construcción y Demolición *In: INDUSTRIAL, E. D. O.* (ed.) *Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental*. Madrid.
- GARCÍA MELIÁN, M., DEL PUERTO RODRÍGUEZ, A., ROMERO PLACERES, M. & SANTIESTEBAN GONZÁLEZ, B. 2009. Premisas de la implementación del Sistema de Gestión Ambiental del Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología de Cuba. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 47, 0-0.
- GAYARRE, F. L. 2008. *Influencia de la variación de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre sus propiedades físicas y mecánicas*. Universidad de Oviedo.
- GLINKA, M., VEDOYA, D. & PILAR, C. 2006. Estrategias de reciclaje y reutilización de residuos sólidos de construcción y demolición. *Jornadas de investigación 2006*. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.
- GOICOCHEA-CARDOSO, O. C. 2015. Evaluación ambiental del manejo de residuos sólidos domésticos en La Habana, Cuba. *Ingeniería Industrial*, 36, 263-274.
- GÓMEZ-BAGGETHUN, E. 2018. To ecologize economics or economize Ecology: Controversies and Challenges around Ecosystem Services Valuation. *Gestión y Ambiente*, 21, 69.

- GONZÁLEZ DEL TORO, D. 2017. El reciclaje: una tarea de todos. *Periódico Granma* [Online]. Available: <http://www.granma.cu/cuba/2017-08-25/el-reciclaje-una-tarea-de-todos-25-08-2017-12-08-16> [Accessed 18/11/2019].
- GONZÁLEZ, Y. P. & RODRÍGUEZ, A. C. 2014. *Estudio del comportamiento de hormigones hidráulicos, a partir del empleo de áridos reciclados sin y con adiciones de materiales finos*. Ingeniería Civil Trabajo de Diploma, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- GUELMES, V. P., BRITO, L. M. L. & VALLE, A. S. 2015. Gestión ambiental de los residuos sólidos urbanos en Sancti Spíritus. Identificación de debilidades y perspectivas. *Revista multitemática de desarrollo local y sostenibilidad*, 3, 13.
- GUTIÉRREZ, C. J. O., RODRÍGUEZ, F. S. G., RAMÍREZ, J. A. S., GÓMEZ, K. J. R., FAJARDO, N. A. P., ECHEVERRÍA, V. A. Z., ALARCÓN, W. A., LÓPEZ, Y. A. E. & GARCÍA, Y. X. F. 2014. Guía para la elaboración del plan de Gestión Integral de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en obra. *In: AMBIENTE*, S. D. D. (ed.). Bogotá, D.C., Colombia.
- GUTIÉRREZ, P. A. 2008. Tipos y propiedades de áridos reciclados. *In: CEDEX* (ed.). España: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- HACKENHAAR, I., WASKOW, R., TUBINO, R. & PASSUELLO, A. Life Cycle Assessment applied to construction and demolition waste treatment: proposal of a Brazilian scenario. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019. IOP Publishing, 012054.
- HERNÁNDEZ-JATIB, N. & GUILARTE-CUTIÑO, I. 2018. Diagnóstico del desempeño de la cantera de áridos La Inagua, Cuba, utilizando una matriz de evaluación. *CienciaUAT*, 13, 6-18.
- HOANG, N. H., ISHIGAKI, T., KUBOTA, R., YAMADA, M. & KAWAMOTO, K. 2019. A review of construction and demolition waste management in Southeast Asia. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 1-11.
- HOYLE, D. 2017. *ISO 9000 Quality Systems Handbook-updated for the ISO 9001: 2015 standard: Increasing the Quality of an Organization's Outputs*, Routledge.

- HUANG, W.-L., LIN, D.-H., CHANG, N.-B. & LIN, K.-S. 2002. Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process. *Resources, conservation and recycling*, 37, 23-37.
- ISO-14001 2015. Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. Suiza Organización Internacional de Normalización.
- ISO-14004 2004. Sistemas de gestión ambiental. Directrices generales sobre principios, sistemas y técnicas de apoyo. Suiza Organización Internacional de Normalización.
- ISO-14040 2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. Suiza: Organización Internacional de Normalización.
- JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, A., ALVAREZ-LUNA, M. & CASTILLO, G. B. 2019. *Análisis multicriterio para la gestión integral de los residuos de construcción y demolición en Villa Clara*. Licenciado en Economía Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- JIMÉNEZ, R. 2017. *Gestión del conocimiento en empresas de comercio minorista de bienes culturales en Cuba*. Doctor en Ciencias Económicas, Tesis Doctoral, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- JIMÉNEZ, R. S. 2018. *Reciclaje de residuos de construcción y demolición (rcd) de tipo cerámico para nuevos materiales de construcción sostenibles*. Universidad Politécnica de Madrid.
- JIMÉNEZ, Y. M. & ACEBEDO, G. C. 2019. Enfoques sobre educación ambiental comunitaria para la conservación del cuabal en el municipio de Santa Clara, provincia de Villa Clara, Cuba. *Revista ECOVIDA*, 8, 124-147.
- KARUNASENA, G., AMARATUNGA, D., HAIGH, R. & LILL, I. 2010. Post disaster waste management strategies in developing countries: Case of Sri Lanka *International Journal of Strategic Property Management*, 21.
- KAZA, S., YAO, L., BHADA-TATA, P. & VAN WOERDEN, F. 2018. *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*, World Bank Publications.

- KOFOWOROLA, O. F. & GHEEWALA, S. H. 2009. Estimation of construction waste generation and management in Thailand. *Waste management*, 29, 731-738.
- KOONTZ, H., WEIHRICH, H. & CANNICE, M. 2012. *Administración una perspectiva global y empresarial*, McGraw-Hill Educación.
- LIMA, C., PEPE, M., FAELLA, C. & MARTINELLI, E. 2017. Concrete with Recycled Aggregates: Experimental Investigations. *Recent Advances on Green Concrete for Structural Purposes*. Springer.
- LLANEZ, L. 2012. *Utilización de áridos reciclados en la Empresa de Prefabricado Industrial de Villa Clara, para la fabricación de hormigón hidráulico*. Ingeniería Civil Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- LLEVAT MADRAZO, A. 2018. *Proyecto del esquema tecnológico de la planta de procesamiento de áridos Cerro Calera Bariay*. Ingeniero de Minas, Trabajo de Diploma, Instituto Superior minero Metalúrgico de Moa.
- LORENA, N., CORTÉS, G., YOHANA, L., ROA, M., HERNANDO, L., GALARZA, W. & GÓMEZ, S. T. R. 2012. Estudio comparativo en la gestión de residuos de construcción y demolición en Brasil y Colombia.
- LU, M., POON, C.-S. & WONG, L.-C. 2006. Application framework for mapping and simulation of waste handling processes in construction. *Journal of construction engineering and management*, 132, 1212-1221.
- LU, W. & YUAN, H. 2011. A framework for understanding waste management studies in construction. *Waste management*, 31, 1252-1260.
- MARCET, X., MARCET, M. & VERGÉS, F. 2018. Qué es la economía circular y por qué es importante para el territorio. Barcelona. España: Asociación Pacto Industrial de la Región Metropolitana de Barcelona.
- MÁRQUEZ, E. G. & PELÁEZ, F. G. P. 2015. Propuesta de programa para la prevención y gestión integral de residuos sólidos del estado de Jalisco. Jalisco, México.
- MARTÍN, J. A. C. & MARTÍNEZ, M. V. L. 2018. Reglamentación ambiental en Cuba.

- MARTÍNEZ, A. N. & PORCELLI, A. M. 2018. Estudio sobre la economía circular como una alternativa sustentable frente al ocaso de la economía tradicional (primera parte). *Lex: Revista de la Facultad de Derecho y Ciencia Política de la Universidad Alas Peruanas*, 16, 301-334.
- MARTÍNEZ, I., PAVÓN, E., ETXEBERRIA, M. & DIAZ, N. 2012. *Caracterización de áridos reciclados de composición mixta para su empleo en morteros de albañilería*.
- MARX, C. 1894. *El Capital*, La Habana.
- MATEOS, D. J. G. 2012. *Evaluación de la calidad de programas de servicios sociales*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Sociológicas, Universidad de Granada.
- MCDONALD, B. & SMITHERS, M. 1998. Implementing a waste management plan during the construction phase of a project: a case study. *Construction Management & Economics*, 16, 71-78.
- MEJÍA, E., GIRALDO, J. & MARTÍNEZ, L. 2017. Residuos de construcción y demolición Revisión sobre su composición, impactos y gestión. *Revista CINTEX*, 18, 105-130.
- MENA, E. G. 2014. Estudio de gestión de residuos de construcción y demolición de una vivienda plurifamiliar. Alicante, España: CYPE Ingenieros, S.A.
- MENDOZA, S. H. D. 2004. Criterio de Expertos. Su procesamiento a través del método delfhi. *CECOFIS*, 30.
- MEP 2005. Resolución Conjunta No 1/2005. La Habana: *Gaceta Oficial de la República de Cuba*.
- MERCANTE, I. T. 2007. Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de los índices de generación a la gestión ambiental. *Revista Científica de RCDs*, XI, 24.
- MERCANTE, I. T., BOVEA, M. D. & LLAMAS, S. 2011. Capítulo 15. Residuos de construcción y demolición. *Residuos Sólidos: un enfoque multidisciplinario*".
- MINAMBIENTE 2017. Reglamento de la gestión integral de los residuos derivados de las actividades de construcción y demolición. *In: GOBIERNO (ed.) 0472*. Bogotá, República de Colombia.

- MIRAGEM, B. 2013. Consumo sustentável e desenvolvimento: por uma agenda comum do direito do consumidor e do direito ambiental. *Revista do Ministério Público do RS*, 229-244.
- MOLINA, S. L. 2018. Manejo de recursos sólidos para la creación de ambientes óptimos de aprendizaje. *Cultura Educación y Sociedad*, 9, 797-804.
- MORA, J. 1999. Transformación y gestión curricular. *Memorias Seminario Taller Evaluación y Gestión Curricular*. Universidad de Antioquia, Perú.
- MORÁN, J., VALDÉS, A., AGUADO, P., GUERRA, M. & MEDINA, C. 2011. Estado actual de la gestión de residuos de construcción y demolición: limitaciones. *Informes de la Construcción*, 53, 89-95.
- MOREDA, L. J. L. & MARTÍNEZ, E. E. V. 2013. Evaluación preliminar de la gestión ambiental en hoteles del destino turístico de Varadero, Cuba. *Teoría y Praxis*, 133-150.
- MOURE-SANTAMARINA, E. & VÁZQUEZ-PELARIGO, P. 2008. Estudio de viabilidad para el desarrollo de una planta de reciclaje de residuos de construcción y demolición en la comarca del Bierzo. Ingesyma.
- MUÑOZ, A. B. 2012. *Aplicaciones de los áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición en la construcción de infraestructuras viarias*. Doctor con Mención Internacional Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba.
- NAVARRO, Y. S. 2007. *Estudio para el manejo integral de Residuos sólidos en tres áreas de la UCLV*. Ingeniería Química Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- NC-133 2002. Residuos Sólidos Urbanos. Almacenamiento, recolección y transportación. Requisitos higiénico-sanitarios y ambientales. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- NC-134 2002. Residuos Sólidos Urbanos. Tratamiento. Requisitos higiénico-sanitarios y ambientales. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.

- NC-135 2002. Residuos Sólidos Urbanos. Disposición final. Requisitos higiénico-sanitarios y ambientales. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- NC-251 2019. Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- NC-530 2009. Desechos sólidos. Manejo de los desechos sólidos de instituciones de salud. Requisitos sanitarios y ambientales. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- NEVES, A. & GONZAGA, J. 2013. A obsolescência programada: desafios contemporâneos da proteção ao consumidor. *Revista do IBRAC Direito da Concorrência, Consumo e Comércio Internacional*, 23.
- NILI, M., SASANIPOUR, H. & ASLANI, F. 2019. The Effect of Fine and Coarse Recycled Aggregates on Fresh and Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete. *Materials*, 12, 1120.
- ONEI 2018. Anuario Estadístico de Cuba 2017. 2017 ed. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Estadística e Información.
- ONEI 2019. Anuario Estadístico de Cuba 2018. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Estadística e Información.
- PÁRAMO, A. R. 2011. *Tipología de áridos reciclados en Cataluña y su aplicabilidad*. Máster en Ingeniería Civil. Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña.
- PAREJA, P. F. 2010. Gestión de residuos de construcción y demolición. *In: CONSEJERÍA DE INDUSTRIA, E. Y. M. A. (ed.). Comunidades de Castilla-La Mancha*.
- PCC. 2016. Actualización de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución *Periódico Granma*.
- PEÑA, N. S. 2012. *Estudio sobre el reciclaje de los RCD enfocados en el hormigón elaborado con áridos reciclados*. Ingeniero Constructor, Universidad de Talca.
- PEÑUÑURI, A. & VELASCO, C. Manual de procedimientos para una empresa de la localidad que ofrece servicios de estudios socioeconómicos. Primer Congreso Internacional de Negocios, 2008. Ciudad Obregón, Sonora, México.

- PÉREZ-ÁGUILA, A., ALVAREZ-LUNA, M. & CASTILLO, G. B. 2016. *Valoración teórico-metodológica del proceso de reciclado de los residuos de construcción y demolición*. Licenciado en Economía, Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- PÉREZ-BENEDICTO, J. A., DEL RÍO MERINO, M., PERALTA CANUDO, J. L. & DE LA ROSA LA MATA, M. 2010. Propiedades mecánicas del hormigón reciclado con áridos procedentes de piezas prefabricadas desechadas.
- PÉREZ, A. 2016. Valoración teórico- metodológica del proceso de reciclado de los Residuos de Construcción y Demolición.
- PINEDA, M. D., ALVAREZ-LUNA, M. & CASTILLO, G. B. 2016. *El modelo para la gestión integral de reciclaje de los RCDs en Villa Clara*. Licenciada en Economía Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- POJASEK, R. 2006. Is your integrated management system really integrated? | *Environmental Quality Management*.
- POLAT, G. & BALLARD, G. Waste in Turkish construction: need for lean construction techniques. Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction IGLC-12, August, Denmark, 2004. 488-501.
- QUESADA, L., GRUNDMANN, G., VERDEJO, M. E. & VALDEZ, L. 2001. *Preparación y ejecución de talleres de capacitación: una guía práctica*, Santo Domingo, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO).
- RAMÍREZ, S. 2010. *Análisis normativo del manejo de residuos sólidos urbanos y de manejo especial en la zona metropolitana del municipio de San Luis Potosí*. Maestría en Ciencias Ambientales Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- RODRÍGUEZ, C. 2019. Los residuos de construcción y demolición (RCD) y las escorias de central térmica como áridos para la elaboración de hormigones y prefabricados no estructurales. Estudio en laboratorio y aplicación industrial.
- RODRÍGUEZ, N., BRITO, J. & BÉRRIZ, R. 2013. Guía para la gestión integral de residuos sólidos municipales. *In: COMUNITARIO, C. D. D. L. Y. (ed.)*. La Habana, Cuba: CEDEL.

- ROSALES DE LEÓN, R. 2018. *Diagnóstico integral de la cantera de materiales para la construcción Peñas Altas Uno de la provincia Santiago de Cuba*. Ingeniería en Minas, Trabajo de Diploma, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- RUBIO, H. H. J. 2011. Anteproyecto para la gestión integral de los residuos de construcción y demolición en el municipio de Yumbo.
- SÁEZ, P. V. 2014. *Sistema de gestión de residuos de construcción y demolición en obras de edificación residencial. Buenas prácticas en la ejecución de obra*. Universidad Politécnica de Madrid.
- SÁEZ, P. V. & OSMANI, M. 2019. A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union. *Journal of Cleaner Production*, 118400.
- SALAS, Y. J. C. & LEDÓN, R. A. 2009. Estrategia de localización con enfoque multiobjetivo para almacenes intermedios en procesos de reciclaje de envases de vidrio. *Ingeniería Industrial*, 30, 1-6.
- SÁNCHEZ-BERRIEL, S. 2017. *Modelo de evaluación integrada de impactos aplicado al proceso de introducción del cemento de bajo carbono en la industria cementera en Cuba*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Económicas Tesis Doctoral, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- SÁNCHEZ, M. & ALAEJOS, P. 2003. Árido reciclado procedente de escombros de hormigón para la fabricación de hormigón estructural. *Cemento-Hormigón*, 31-37.
- SÁNCHEZ ROLDÁN, Z. 2019. Utilización de árido reciclado para la fabricación de piezas de hormigón prefabricado de mobiliario urbano.
- SANDOVAL, V. P., JACA, C. & ORMAZABAL, M. J. M. I. E. I. 2017. Economía circular. 85-95.
- SEGUÍ, L., MEDINA, R. & GUERRERO, H. 2018. Gestión de residuos y economía circular. España: EAE Business School.

- SERRANO, M. & ACOSTA, M. 2009. Evaluación económica de una microempresa de reciclaje de escombros. *II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*. Barranquilla, Colombia: REDISA.
- SHEN, L., TAM, V., TAM, C. & HO, S. Material wastage in construction activities—a Hong Kong survey. Proceedings of the first CIB-W107 international conference. Creating a sustainable construction industry in developing countries, 2000. Citeseer, 125-31.
- SHEN, L., TAM, V. W., TAM, C. & DREW, D. 2004. Mapping approach for examining waste management on construction sites. *Journal of construction engineering and management*, 130, 472-481.
- SLADE, G. 2012. *Big disconnect: The story of technology and loneliness*, Prometheus Books.
- SOTELO, S. E. C. & BENÍTEZ, S. O. 2013. Gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 7-8.
- STONER, J. A., FREEMAN, R. E. & GILBERT, D. R. 1995. *Administración*, México, Prentice Hall Hispanoamericana S. A.
- SUÁREZ-SILGADO, S., MOLINA, J. D. A., MAHECHA, L. & CALDERÓN, L. 2018. Diagnosis and proposals for the management of construction and demolition waste in the city of Ibagué (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 21, 9.
- SUÁREZ-SILGADO, S. S., BETANCOURT-QUIROGA, C., MOLINA-BENAVIDES, J. & MAHECHA-VANEGAS, L. 2019. The management of the construction and demolition waste in Villavicencio: current status, barriers and management. *Entramado*, 15, 224-244.
- SUÁREZ SILGADO, S. S. 2016. *Propuesta metodológica para evaluar el comportamiento ambiental y económico de los residuos de construcción y demolición (RCD) en la producción de materiales pétreos*.
- SWARR, T. E., HUNKELER, D., KLÖPPFER, W., PESONEN, H.-L., CIROTH, A., BRENT, A. C. & PAGAN, R. 2011. *Environmental life-cycle costing: a code of practice*. Springer.

- TAM, V. W., SOOMRO, M. & EVANGELISTA, A. C. J. 2018. A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017). *Construction and Building Materials*, 172, 272-292.
- TAM, V. W. & TAM, C. 2006. Evaluations of existing waste recycling methods: a Hong Kong study. *Building and Environment*, 41, 1649-1660.
- TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H. & VIGIL, S. 1994. *Gestión integral de residuos sólidos*, Madrid, España, McGraw-Hill Interamericana de España.
- TERTRE, J. 2007. Gestión de residuos de construcción y demoliciones. Áridos reciclados. *Informes de la Construcción*, 59, 81-89.
- TIRADO, I. 2018. *Evaluación ambiental y aplicaciones de los áridos procedentes de RCD ligados con cemento en Ingeniería Civil*. Doctor en Ciencias Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba.
- UICN. 2011. Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción. *Academia* [Online]. Available: https://www.academia.edu/21696715/Gu%C3%ADa_de_manejo_de_escombros_y_otros_residuos_de_la_construcci%C3%B3n [Accessed 15/04/2018].
- UNEP-SETAC 2009. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. Québec, Canadá: United Nations Environment Programme.
- UNEP-SETAC 2011. Towards a Life Cycle Sustainability Assessment. Québec, Canadá: United Nations Environment Programme.
- UNICEF 2005. *Participación ciudadana y gestión integral de residuos*, España, Ecoclubes.
- VERNETTE, E. 1995. Eficacia de los instrumentos de estudio: evaluación de las escalas de medida. *Investigación y Marketing*, 48, 49-66.
- VIDAL, G. V., REYES-ORTIZ, Ó. J. & PEÑUELA, G. G. 2011. Aplicación de los residuos de hormigón en materiales de construcción. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 9, 17-33.

- WANG, J., YUAN, H., KANG, X. & LU, W. 2010. Critical success factors for on-site sorting of construction waste: a China study. *Resources, conservation and recycling*, 54, 931-936.
- WILLBORN, W. & KARAPETROVIC, S. 1998. Integration of quality and environmental management systems. *TQM Magazine*.
- WU, H., ZUO, J., ZILLANTE, G., WANG, J. & YUAN, H. 2019. Status quo and future directions of construction and demolition waste research: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118163.
- YANG, J., HAO, J., HILLS, M. & HUANG, T. 2007. A simulation model using system dynamic method for construction and demolition waste management in Hong Kong. *Construction Innovation*.
- ZARATIEGUI, J. 1999. La gestión por procesos: Su papel e importancia. *Economía industrial*, 330, 81-82.
- ZHAO, W., LEEFTINK, R. & ROTTER, V. 2010. Evaluation of the economic feasibility for the recycling of construction and demolition waste in China—The case of Chongqing. *Resources, Conservation and Recycling*, 54, 377-389.

ANEXOS

Anexo 1. Etapas de los modelos de gestión integral de RCD

Tabla 20. Etapas de los modelos según autores

Autores	Fases o Etapas								
	1	2	3	4	5	6		7	8
						Reciclar	Reutilizar		
Ashook y Gómez, 2004		X		X	X	X			
Berent & Vedoya, 2006			X	X	X	X		X	
Velasco, 2008			X	X		X	X	X	X
Jiménez, 2009	X		X	X	X		X	X	
Acosta, 2010				X	X	X		X	
Burgos, 2010	X	X	X	X			X	X	
Construcción, 2010			X	X	X	X	X	X	
Pareja, 2010		X		X	X	X	X	X	
Reyes, 2010				X		X	X	X	
Karunasena <i>et al.</i> , 2010	X	X		X	X	X	X	X	
I. Mercante <i>et al.</i> , 2011		X	X	X	X			X	
Rubio, 2011			X	X	X	X	X	X	
UICN, 2011	X		X		X	X	X	X	
Bedoya, 2011			X	X		X	X	X	
J. M. Morán del Pozo		X	X		X		X	X	
Gestión de RCD, 2012		X	X			X		X	
Semarnat, 2012				X	X	X		X	
Guía de Gestión de RCD	X	X	X		X		X		
Dragados Asedes, 2013	X	X	X	X	X		X		
Pérez, 2013	X		X	X			X	X	
García, 2014			X	X		X		X	
García, 2014		X		X	X	X	X	X	
Cebrian, 2014	X	X	X	X	X		X		
Arce, 2014			X	X	X	X	X	X	
Ortega, 2015	X		X	X	X			X	
España, 2015			X		X	X		X	
Vidal, 2015			X	X	X	X	X	X	
Ortega, 2016			X			X		X	
Pineda, 2016	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Leyenda

1. Estimación de la demanda de residuos
2. Definición de residuos (fracciones valorizables)
3. Generación, prevención minimización de los residuos
4. Separación en origen y recogida selectiva
5. Transporte (o almacenamiento) de los residuos
6. Aprovechamiento de los RCD
7. Disposición final
8. Evaluación de impactos

Fuente: elaboración propia.

Anexo 2. Dendograma de casos²⁸

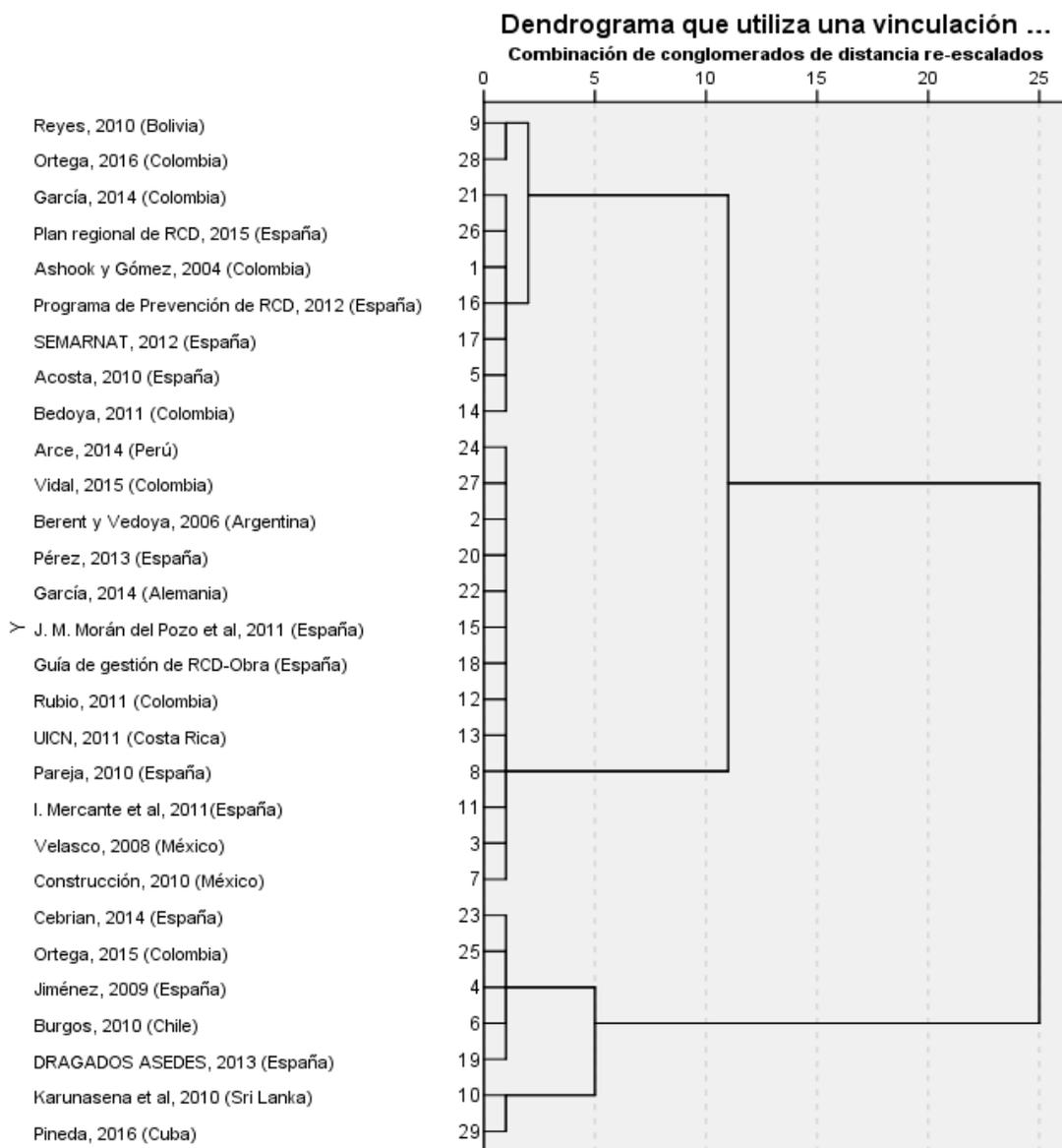


Figura 22. Dendograma de casos.
Fuente: salida del SPSS.

²⁸ Representación gráfica en forma de árbol que resume el proceso de agrupación en un análisis de conglomerados.

Anexo 3. Resumen del análisis de conglomerados jerárquicos

Tabla 21. Grupos de autores por etapas

Grupos	Concepto	Por ciento de Ocurrencia	Grupos	I	II	III	IV
			Cantidad de Modelos	9	13	5	2
Grupo I	Generación, prevención o minimización de los residuos	75,9 %	22	4	12	5	1
	Transporte (o almacenamiento) de los residuos	75,9 %	22	5	10	4	2
	Separación en origen y recogida selectiva	79,3 %	23	6	10	5	2
	Disposición Final	82,8 %	24	8	12	3	2
	Aprovechamiento de los RCD (Reutilización y Reciclaje)	100 %	29	9	12	4	2
<hr/>							
Grupo II	Estimación de la demanda	34,5 %	10	0	3	5	2
	Definición e identificación de los residuos	41,4 %	12	3	4	3	2
<hr/>							
Grupo III	Evaluación de impactos	6,9 %	2	1	1	0	1

Fuente: elaboración propia.

Anexo 4. Entrevista estructurada

Entrevista estructurada realizada a los expertos de organismos como Geominera, Vivienda Provincial, Planificación Física, Economía, Dirección Provincial de Servicios Comunes y Planificación, con el objetivo de conocer las opiniones de los seleccionados con vistas a la realización del diagnóstico.

Aspectos del diagnóstico:

- I. Producción de áridos naturales
 - a) ¿Cuántas canteras tiene la provincia?
 - b) ¿Cuál es la vida útil de las canteras?
 - c) ¿Qué capacidad instalada y real posee cada una de las canteras?

- II. Situación de la vivienda en Villa Clara
 - a) ¿En qué estado se encuentra la vivienda de la provincia?
 - b) ¿Cómo se cataloga el fondo habitacional de la provincia?
 - c) ¿Qué criterios se tienen en cuenta para comparar la situación de la vivienda de la provincia con otras?

- III. Generación de residuos de construcción y demolición
 - a) ¿Cuáles son las entidades generadoras de RCD?
 - b) ¿Por qué motivos se generan RCD?
 - c) ¿Qué opciones considera emplear ante esta generación?
 - d) ¿Es la población generadora de RCD?
 - e) ¿Los RCD generados por la población se recogen por la entidad de Servicios Comunes sin dificultad?

Fuente: elaboración propia.

Anexo 5. Canteras de la provincia de Villa Clara

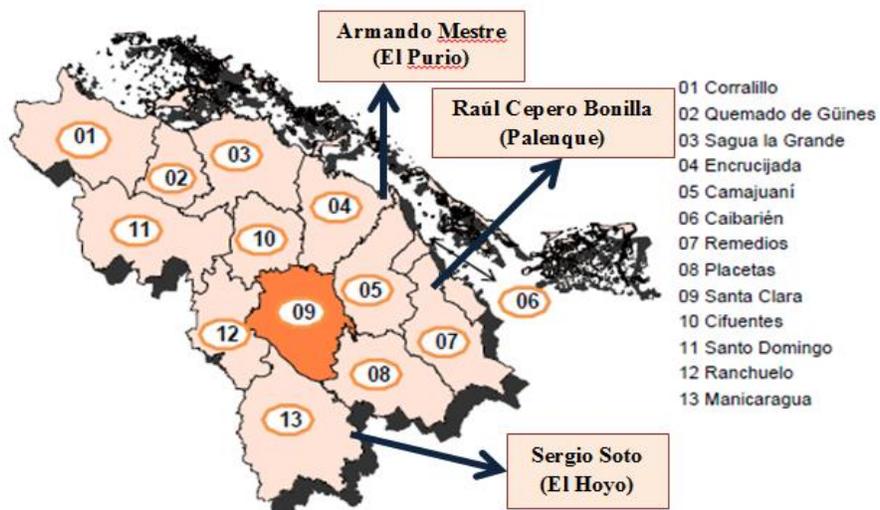


Figura 23. Canteras en la provincia de Villa Clara.
Fuente: elaboración propia.

Anexo 6. Capacidad productiva anual de las canteras de Villa Clara

Tabla 22. Capacidad productiva anual de las canteras (m³)

Capacidad productiva	UEB				Total
	Armando Mestre	El Purio	Raúl Cepero Bonilla	Sergio Soto	
Instalada	95 040	338 525	90 816	95 040	619 421
Real	46 368	251 505	83 988	85 847	467 708

Fuente: Empresa de Materiales de Construcción Villa Clara.

Anexo 7. Documentos de referencia normativa que regulan el control del medioambiente (RSU)

Tabla 23. Documentos de referencia normativa sobre los RSU

Leyes, decreto-leyes, decretos y normativas	Lo que establece	Disposiciones relacionadas con RCD
Ley suprema del país²⁹		
Constitución de la República de Cuba en su Artículo 27	Ley de Reforma Constitucional	no
Leyes³⁰		
Ley 1288 (Dorticós, 1975) y su Reglamento, el Decreto 3800 que constituye el fundamento legal donde se establecen los principios y normas generales del manejo de los RSU	La recolección de los desechos de materias primas en los procesos de producción o de servicios, con el objeto de ser recuperados.	no
Ley No. 33 de 10/1/81. Ley de Protección del Medioambiente y Uso Racional de los Recursos Naturales	Regula los principios básicos para la conservación, protección, mejoramiento y transformación del medioambiente y el uso racional de los recursos naturales. Establece en su Artículo 117 un Sistema Nacional de Protección del Medioambiente y del uso Racional de los Recursos Naturales en el que participan armónicamente los órganos y organismos estatales, las empresas y sus dependencias, las cooperativas, las organizaciones políticas, sociales y de masas, y la ciudadanía en general con el objeto de brindarle una atención racional y global al medioambiente y a los recursos naturales.	no
Ley No. 81. (1997). Medio Ambiente. <i>Gaceta Oficial de</i>	Esta ley deroga la No. 33 de 10/1/81.	no

²⁹ Adoptada por referéndum popular celebrado el 15 de febrero de 1976, posteriormente el 12 de julio de 1992, la Asamblea Nacional del Poder Popular, órgano supremo del poder del Estado y único con potestad legislativa y constituyente en la República, aprobó la "Ley de Reforma Constitucional", a tenor de lo dispuesto en el Capítulo XII del propio texto Constitucional y actualizada con la aprobación de la nueva Constitución de la República en el 2019.

³⁰ Aprobadas, modificadas o derogadas por la Asamblea Nacional del Poder Popular.

<i>la República de Cuba</i> edición extraordinaria, 7 (XCV), 47		
Decreto-ley³¹		
Decreto Ley 200, 1999. Contravenciones del medio Ambiente.	Establece las contravenciones administrativas aplicables, de conformidad con lo aplicado en la Ley No. 81. (1997).	no
Decreto Ley 201,1995.	Establece las infracciones contra el ornato público y la higiene comunal en la ciudad de La Habana, incluye dentro de la disposición general un inciso de un artículo relacionado con el vertido de los RCD.	sí
Decreto³²		
Decreto 123/84	Establece infracciones contra el ornato público.	no
Decreto 201/95	Establece sobre infracciones contra la higiene comunal.	no
Normas Cubanas (NC)³³		
NC: 133:2002. Residuos sólidos urbanos	Almacenamiento, recolección y transportación. Requisitos higiénicos- sanitarios y ambientales.	no
NC: 134:2002. Residuos sólidos urbanos.	Tratamiento. Requisitos higiénicos sanitarios y ambientales.	no
NC: 134:2002. (2002). Residuos sólidos urbanos.	Disposición final. Requisitos higiénicos-sanitarios y ambientales	no
NC: 530:2007. (2007). Desechos sólidos.	Manejo de desechos sólidos de instituciones de salud. Requisitos higiénicos-sanitarios y ambientales.	no
Resoluciones		
Resolución 1. (2004).	Buró Regulatorio para la protección de la Salud Pública de Cuba.	no

³¹ Dictados por el Consejo de Estado, órgano de la Asamblea Nacional del Poder Popular que la representa entre uno y otro período de sesiones y a los fines nacionales e internacionales ostenta la representación del Estado cubano.

³² Emitidos por el Consejo de Ministros, máximo órgano con poder ejecutivo y constituye el gobierno de la República.

³³ Resoluciones, instrucciones, normas y demás disposiciones: son dictadas por los jefes de los organismos de la Administración Central del Estado encargados de dirigir y controlar la política del Estado en la esfera de su competencia.

Otros		
Suárez, R. A. (1974). Estudio del manejo de los desechos sólidos en diez localidades de la provincia Las Villas. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba.	Sanciones en materia de desechos sólidos por el incumplimiento de las disposiciones legales.	no

Fuente: elaboración propia, a partir de la recopilación de los documentos normativos principales referidos por diferentes autores.

Anexo 8. Documentos de referencia normativa que regulan el control del medioambiente (áridos naturales)

Tabla 24. Documentos de referencia normativa sobre los áridos naturales

Leyes, decreto-leyes, decretos y normativas	Lo que establece	Disposiciones relacionadas con áridos reciclados
NC 251: 2013 “Áridos para Hormigones Hidráulicos	Requisitos.	no
NC 177: 2002 Áridos. Determinación de % de huecos.	Método de ensayo.	no
NC 178: 2002 Áridos.	Análisis granulométrico.	no
NC 179: 2002 Áridos.	Determinación del contenido de partículas de arcillas.	no
NC 180: 2002 Áridos.	Determinación de partículas ligeras. Método de ensayo.	no
NC 181: 2002 Áridos.	Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo.	no
NC 185: 2002 Arena.	Determinación de impurezas orgánicas. Método de ensayo.	no
NC 186: 2002 Arena.	Peso específico absorción de agua Método de ensayo NC 187: 2002. Árido grueso. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.	no
NC 188: 2002 Áridos Gruesos.	Abrasión. Método de ensayo.	no
NC 189: 2002 Áridos Gruesos.	Determinación de partículas planas y alargadas. Método de ensayo.	no
NC 190: 2002 Áridos Gruesos.	Determinación del Índice de triturabilidad. Método de ensayo.	no
NC 200: 2002 Áridos.	Determinación del material más fino que el tamiz de 0,074mm (No. 200). Método de ensayo.	no
NC 671: 2008 Áridos.	Toma de Muestras. Materiales de construcción.	no
NC 991:2013. Áridos.	Términos y definiciones.	no

Fuente: elaboración propia, a partir de la recopilación de los documentos normativos principales referidos por diferentes autores.

Anexo 9. Municipios donde se implementó el proyecto Hábitat I

Municipios donde trabajó Proyecto Hábitat I			
Villa Clara (8) Santa Clara Camajuaní Caibarién Quemado de Güines Placetas Manicaragua Sagua la Grande Encrucijada	Sancti Spíritus (4) Fomento Taguasco Jatibonico Yaguajay	Las Tunas (2) Puerto Padre J. Menéndez	Holguín (12) Banes Moa Cueto Baguano Calixto García Gibara Antilla Rafael Freyre Banes Holguín Banes Sagua de Tánamo
	Cienfuegos (2) Aguada de Pasajeros Rodas	Guantánamo (1) Baracoa	
Pinar del Río (9) San J. y Martínez San Luis Consolación del Sur Viñales Los Palacios San Cristóbal La Palma Bahía Honda	Santiago de Cuba (7) Contramaestre Mella Palma Soriano Songo la Maya Santiago (S. Pedrito) Santiago (S. Pablo) Guamá	Granma (5) Bayamo Manzanillo Yara B. Masó Media Luna	

Fuente: elaboración propia, a partir de la información del Proyecto Hábitat I.

Anexo 10. Guía para entrevista estructurada aplicada a directivos del sector de la construcción, Empresa Provincial y Municipal de Comunes y delegados del poder popular de Santa Clara

- I. Generación de RCD (sector de la construcción)
 - a) ¿Generan residuos de la construcción?
 - b) ¿Principales causas que inciden en la generación de residuos de la construcción?
 - c) ¿Cuál es la cuantía de estos residuos?
 - d) ¿Cuál es el destino final de los residuos de construcción?

- II. Generación de RCD (Entidad Provincial y Municipal de Servicios Comunes)
 - a) ¿Recogen los RCD generados por las empresas del sector de la construcción?
 - b) ¿Recogen los RCD generados por la población?
 - c) Explique la disposición final que tienen estos residuos
 - d) ¿Poseen la infraestructura necesaria para el tratamiento de este tipo de residuos?
 - e) ¿Está dentro de su objeto social la recogida de RSU y dentro de ellos RCD?
 - f) ¿Existe algún proyecto que tenga como objetivo el tratamiento de los RCD?

- III. Generación de RCD (delegados del poder popular)
 - a) ¿Recogen los RCD generados por las personas de la circunscripción?
 - b) Explique la disposición final que tienen estos residuos

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11. Proyecto “Sistema de Recogida de Escombros”

Se inicia con la recepción de las peticiones de los clientes en la Sala de Análisis Provincial a través de los teléfonos 42201654, 42294372 y 42205731; y luego se accede por parte de Comunales a la dirección del cliente para prestar el servicio y que se efectúe el pago. Con la información anterior se procede a la recogida de los escombros por zonas ver tabla 25.

Tabla 25. Estructura del proceso de recogida de escombros por días de la semana

Días	Lunes, miércoles y viernes	Martes, jueves y sábados
Zona	Zona 1	Zona 2, 3, 4, 5, 6, 6 A y 8
Equipo	2 camiones abiertos, 1 cargador	2 camiones ampiroll, 2 camiones abiertos y el cargador
Personal	2 brigadas de 6 tiradores cada una y 3 choferes	3 brigadas de con 6 tiradores cada una y 5 choferes

Fuente: Dirección Provincial de Servicios Comunales.

Las zonas que se muestran en la tabla poseen la siguiente nomenclatura:

Zona 1: Consejo Popular Centro

Zona 2: Consejos Populares Camacho y Libertad

Zona 3: Consejos Populares Capiro y Santa Catalina

Zona 4: Consejos Populares Sandino y Vigía

Zona 5: Consejo Virginia

Zona 6: Consejo Popular Condado Norte

Zona 6A: Consejo Popular Condado Sur

Zona 8: Consejo Popular Abel Santamaría

Esta redistribución no permite trabajar los domingos y se le presta este servicio solo a las zonas que se encuentren dentro del perímetro de la circunvalación, o sea las zonas del centro de la ciudad. Para ello hay que tener en cuenta los elementos fundamentales del servicio ver tabla 26.

Tabla 26. Elementos fundamentales para el servicio

Elementos	Medidas
Precio del saco de escombros	\$ 4,00
Precio 1 t de escombros	\$ 40,00 (10 sacos)
Cantidad de escombros recogidos	8 t/viaje
Jornada	3 viajes/día
Total viajes/mes	78 viajes (26 días)
Precio del combustible	0,58 \$/litro
Cantidad de combustible	15 L/viaje (1170 L/mes)
Precio del combustible por viaje	8,70 \$/viaje (678,60 \$/mes)
Promedio de salario diario por trabajador	\$ 68,57 = ((\$ 20,00 x 8 t x 3 viajes) /7trab)
Estimado de salario diario de 1 brigada con 7 trabajadores	\$ 479,99 (\$ 68,57 x 7 trab)
Estimado de salario (promedio/trabajador/mes)	\$ 1 782,82 (\$ 68,57 x 26 días)
Estimado de salario (promedio/brigada/mes)	\$ 12 479,74 (\$ 1 782,82 x 7 trab)

Fuente: elaboración propia a través de los datos recogidos en la Dirección Provincial de Servicios Comunales.

La recogida de los escombros se realiza en sacos los cuales son revisados por un supervisor para determinar su volumen antes de realizar su cargue en los camiones y el monto que debe pagar el cliente. El precio del mismo es fijo a pesar de la distancia que sea recogida, es decir, que este no se altera por el combustible que sea consumido. El salario de los trabajadores se determina de acuerdo con la cantidad recogida, por lo que no es fijo. Este proyecto es dirigido por la dirección municipal. No obstante, los escombros recogidos no son aprovechados siendo su destino el vertedero municipal.

Anexo 12. Etapas de la capacitación mediante la aplicación de la técnica del taller

La técnica del taller se emplea para la capacitación de los actores participantes como técnica más efectiva que pretende lograr la integración de la teoría y la práctica, integrando las experiencias personales de cada participante, interactuando entre sí en torno al tema del reciclaje de los RCD. A continuación, se presenta cómo proceder desde la preparación, ejecución y evaluación del mismo.

Etapa I. Preparación: explicación de la etapa

- Diseño: Se tienen en cuenta los objetivos, los contenidos y la metodología a emplear.
- Planificación: Se tienen en cuenta los horarios, técnicas y actividades, materiales, responsabilidades y recursos necesarios.
- Elaboración de los materiales: Se tiene en cuenta los materiales a utilizar, como transparencias, el glosario de términos, entre otros.

Glosario de términos:

Categorías	Definiciones
Residuo sólido urbano	El material, producto o subproducto que sin ser considerado como peligroso, se descarte o deseche y que sea susceptible de ser aprovechado o requiera sujetarse a métodos de tratamiento o disposición final.
Residuos de Construcción y Demolición (RCD)	Residuos procedentes de los trabajos de construcción, reforma y demolición de estructuras y edificaciones, así como los desastres naturales y que su composición varía notablemente en función del tipo de obra de procedencia y se encuentran dentro de los residuos sólidos urbanos (RSU)
Productor RCD	Es la persona natural o jurídica, ya sea de naturaleza pública, privada o mixta, que realiza las actividades generadoras de RCD o efectúe operaciones de tratamiento previo, de mezcla u otro tipo que ocasionen un cambio de naturaleza o de composición de estos residuos. Algunos ejemplos de actores son las plantas de prefabricados, los talleres de producción local, y las empresas estatales.
Poseedor RCD	Persona natural o jurídica que efectúe las operaciones de derribo, construcción, rehabilitación, excavación u otras operaciones generadoras de los residuos, o la persona que los tenga en su poder y no ostente la condición de gestor de RCD. Se destacan en esta denominación actores como la población, ENIA y las tiendas del MINCIN.
Transportador RCD	La persona o entidad ya sea de naturaleza pública, privada o mixta que efectúe las operaciones de transportación hacia los lugares donde se realiza la valorización de los RCD. Algunos ejemplos de actores son la dirección provincial y municipal de servicios comunales y los recolectores individuales..

Gestión de los RCD	Conjunto de procesos y acciones que se ejecutan sobre uno o más recursos para el cumplimiento de los fines de una organización, a través de un ciclo sistémico y continuo, determinado por las funciones básicas de planificación, organización, dirección o mando y control”.
Gestión integral de los RCD	Conjunto de actividades dirigidas a dar a los residuos el destino más adecuado de acuerdo con sus características. Incluye actividades de recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento, transformación, disposición final o cualquier otra operación requerida, con el fin de prevenir daños o riesgos para la salud humana o el ambiente.
Gestor RCD	La persona o entidad, pública o privada, registrada mediante autorización (instalaciones) o comunicación (operaciones de gestión sin instalación asociada), que realice cualquiera de las operaciones que componen la gestión de los residuos, sea o no el productor de los mismos. Algunos ejemplos de actores de mayor relevancia son gobierno municipal y provincial, planificación física, los medios de comunicación, centros de formación, entre otros. Actualmente la valorización que se realiza solo incluye el tratamiento de los RCD para disposición final.
Reutilización	Es el proceso de volver a utilizar un material o residuo en un mismo estado, sin reprocesamiento de la materia, o sea sin ningún tipo de transformación o cambio físico químico, ofreciendo nuevas alternativas de aplicación. Generalmente son elementos que se encuentran en buen estado o que tienen relativa importancia arquitectónica, como pueden ser ventanas, puertas, acero estructural.
Reciclado	Transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos.
Recicladores	Persona natural o jurídica cuya actividad económica es transformar los subproductos provenientes de los residuos de la construcción y demolición, para reincorporarlos a un ciclo de vida como productos terminados de uso directo o como materia prima de procesos de elaboración.
Disposición final	Acción de depositar o confinar permanentemente residuos sólidos en sitios o instalaciones cuyas características prevengan afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.
Sítios de Disposición Final Autorizados	Instalación autorizada por el gobierno o autoridad correspondiente para la prestación de servicios a terceros en donde se reciben y acumulan en forma definitiva los residuos de la construcción y demolición.

Etapas II. Ejecución

- **Introducción:** bienvenida y presentación de las personas facilitadoras, presentación de los participantes (nombre, institución y ocupación), donde cada uno explica sus expectativas, temores y objetivos. Se hace referencia a los horarios y la logística. Particularizando la sensibilización de los participantes vinculados con la actividad sobre el reciclaje de los RSU dentro de los cuales está los RCD, exponiendo las estadísticas más representativas al respecto.
- **Desarrollo:** se presenta, discute y profundiza la temática a tratar a partir del intercambio de experiencias entre las personas participantes y confrontándolas con nuevos referentes críticos.
- **Conclusiones:** posee tres elementos básicos que son los resultados y el plan de acción.
 - i. **Resultados:** resumen de los diferentes pasos del taller, de la metodología utilizada.
 - ii. **Plan de acción:** Se resume en actividades definiendo tipo de actividad, responsabilidades, tiempo y los resultados.

Etapas III. Evaluación

- **Intermedia:** se forma para cada sesión un equipo de retroalimentación encargado de presentar un informe sobre las actividades realizadas en el taller anterior, el cual incluye críticas y sugerencias.
- **Final:** se realiza utilizando los equipos de retroalimentación que se fueron evaluando durante los talleres. El objetivo fundamental es conocer lo que han aprendido, lo que van aplicar en sus entidades y lo que queda pendiente. Para el (los) facilitador (es) también es importante conocer la opinión de los participantes acerca de la calidad de los talleres.
- **Impacto:** se aplica lo aprendido y en qué grado. Existen varias técnicas para medir el impacto de los talleres de capacitación, todas tienen en común la comparación entre la situación antes y después del taller de capacitación. Algunas de las técnicas que se pueden utilizar son la observación de las actividades de las instituciones cuyos actores se capacitaron y la aplicación de cuestionarios.

Fuente: elaborado a partir de (Quesada *et al.*, 2001)

Anexo 13. Cuestionario aplicado para la selección de los expertos que participan en la validación del modelo

Estimado experto:

Usted ha sido seleccionado para valorar la pertinencia en temas de gestión de los residuos de construcción y demolición. Le pedimos responda a las siguientes preguntas:

1. ¿Está de acuerdo con ser experto a los efectos de esta investigación?

Sí ___ No ___

2. Datos generales

Nombre y Apellidos: _____

Título académico o científico más alto _____

Experiencia laboral: ____ Centro de trabajo: _____

Cargo que desempeña: _____

3. Marque con una X, en la tabla siguiente, el valor que se corresponde con el grado de conocimiento que posee acerca de los temas abordados en el objeto de validación, en una escala creciente del 1 al 10, donde el 10 expresa el máximo grado de conocimiento sobre el tema.

Experto/ Grado de conocimiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

4. La influencia que ha tenido cada una de las fuentes de argumentación o fundamentación para obtener el nivel de conocimiento en el tema.

Fuentes de argumentación o fundamentación	Alto	Medio	Bajo
Análisis teóricos realizados por usted			
Experiencia obtenida			
Trabajos de autores nacionales			
Trabajos de autores extranjeros			
Conocimiento del estado del problema en el extranjero			
Su intuición			

Fuente: elaborado a partir de (Jiménez, 2017).

Gracias por su colaboración.

Anexo 14. Instrumento aplicado a cada experto para la validación del modelo

Usted ha sido seleccionado para la validación del modelo para la gestión integral de los RCD. Evalúe cada una de las características según la escala de 1 a 5.

Cualidades	Muy alto (5)	Alto (4)	Medio (3)	Bajo (2)	Muy bajo (1)
Integración de los componentes					
Valor metodológico					
Adecuación a la realidad					
Lógica de las etapas y fases					
Importancia social					

Explicación de las características

La integración de los componentes: es la posibilidad que ofrece el modelo de sistematizar todo el conocimiento en función de los resultados, a través de su incorporación en los procesos internos de los territorios (municipios y/o provincias).

Valor Metodológico: constituye una guía para la comprensión de relaciones entre los niveles, los procesos internos en los que estos influyen y los resultados que se esperan con la aplicación. Está articulado de forma que puede ser implementado a través de un procedimiento lógico para lograr la eficiencia del proceso.

Adecuación a la realidad: el modelo es aplicable a las particularidades de los territorios por la existencia de las formas de conocimiento que se muestran en el mismo para poder ser operacionalizadas mediante la implementación de un procedimiento.

En la lógica de estructuración por fases y etapas: estas siguen una secuencia lógica que no rompe con la racionalidad. Cada fase complementa la etapa a la que pertenece y cada etapa complementa el objetivo del modelo.

Importancia social: el modelo permite conocer las relaciones que se establecen entre los niveles dotando a los territorios de una plataforma teórica que sirve de base a cualquier estudio que se desarrolle sobre esta temática.

Escriba en este espacio sus requerimientos o sugerencias:

Fuente: elaboración propia a partir de (Jiménez, 2017).

Anexo 15. Procedimiento para la selección de los expertos

Para llevar a cabo la selección de los expertos hay que tener en cuenta cinco aspectos:

- Selección *a priori* de todas las personas que pudieran ser consideradas como expertos.
- Aplicación del cuestionario a expertos.
- Cálculo del Coeficiente de Conocimiento o Información (Kc) de cada experto.
- Cálculo del Coeficiente de Argumentación (Ka) de cada experto.
- Cálculo del coeficiente de competencia (K) de los expertos.

La selección *a priori* de los expertos se realiza teniendo en cuenta la experiencia, nivel educacional y temas de investigación afines con la temática de estudio de los mismos.

El cuestionario aplicado para la selección de los expertos que participan en la validación del procedimiento se presenta a continuación:

Estimado experto:

A usted se le ha seleccionado para valorar la pertinencia en temas de gestión de los RCD. Le pedimos responda a las siguientes preguntas:

1. ¿Está de acuerdo con ser experto a los efectos de esta investigación?

Sí ___ No ___

2. Datos generales

Nombre y Apellidos: _____

Nivel escolar: _____

Experiencia laboral: _____ Centro de trabajo: _____

Cargo que desempeña: _____

3. Marque con una X, en la tabla siguiente, el valor que se corresponde con el grado de conocimiento que posee acerca de los temas abordados en el objeto de validación, en una escala creciente del 1 al 10, donde el 10 expresa el máximo grado de conocimiento sobre el tema.

Experto/Grado de Conocimiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

4. La influencia que ha tenido cada una de las fuentes de argumentación o fundamentación para obtener el nivel de conocimiento en el tema.

Fuentes de argumentación o fundamentación	Alto	Medio	Bajo
Análisis empírico realizado por usted			
Experiencia obtenida			

Trabajos en los talleres de la misma empresa			
Trabajos en los talleres de otra empresa			
Conocimiento del estado del problema en el extranjero			
Su intuición			

Fuente: elaborado a partir de (Jiménez, 2017).

Gracias por su colaboración

Se procede al cálculo de los coeficientes Kc (ecuación 7), Ka (ecuación 8) y K (ecuación 9).

Tabla 27. Fuentes de argumentación para el cálculo del Coeficiente de Conocimiento (Kc)

Fuentes de argumentación o fundamentación	Alto	Medio	Bajo
Análisis teóricos realizados por usted	0,3	0,2	0,1
Experiencia investigativa en el tema	0,5	0,4	0,2
Estudio de trabajos de autores nacionales	0,05	0,05	0,05
Estudio de trabajos de autores extranjeros	0,05	0,05	0,05
Conocimiento del estado del problema en el extranjero	0,05	0,05	0,05
Intuición	0,05	0,05	0,05

Fuente: (Jiménez, 2017)

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores se presentan los resultados de la validación del modelo (ver tabla 28).

Tabla 28. Expertos seleccionados por el método del criterio de expertos

Expertos	Grado	Kc	Fuentes de argumentación						Ka	K
			1	2	3	4	5	6		
1	10	1,0	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,95
2	9	0,9	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,90
3	8	0,8	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,85
4	8	0,8	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,85
5	7	0,7	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1,0	0,85
6	9	0,9	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,90
7	9	0,9	0,3	0,4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,90
8	6	0,6	0,3	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	1,0	0,80
9	5	0,5	0,1	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,8	0,65
10	6	0,6	0,1	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,8	0,70

Fuente: elaboración propia a partir de (Jiménez, 2017).

Los expertos seleccionados (ocho) son especialistas en los temas de reciclaje de RCD y gestión, con un coeficiente de competencia igual o mayor a 0,8.

Se resumen los datos personales de los expertos seleccionados (ver tabla 29).

Tabla 29. Datos de los expertos seleccionados

Expertos	Nivel Escolaridad	Experiencia	Centro de trabajo	Cargo
1	Ing.	Más de 15 años	Agrupación Constructora Sagua la Grande	Directivo
2	Ing.	Más de 10 años	Taller de producción local Sagua la Grande	Directivo
3	Ing.	Más de 10 años	UEB: Combinado de hormigón Santa Clara	Directivo
4	Ing.	Más de 15 años	UEB: Combinado de hormigón Santa Clara	Directivo
5	Ing.	Más de 10 años	Agrupación Constructora Manicaragua	Directivo
6	Ing.	Más de 10 años	Taller de producción local Manicaragua	Directivo
7	Ing.	Más de 15 años	Planta Prefabricado Remedios	Directivo
8	Ing.	Más de 20 años	Taller de producción local Remedios	Directivo

Fuente: elaboración propia a partir de (Jiménez, 2017).

La tabla muestra que en el proceso de selección hay dos expertos que se eliminan porque el coeficiente de competencia fue menor de 0,8.

Anexo 16. Cuestionario aplicado a los expertos para la validación del procedimiento

Usted ha sido seleccionado para la validación del procedimiento que se propone al taller de materiales de construcción, perteneciente a la Empresa Provincial de Construcción y Mantenimiento de Villa Clara (EPCM), que tiene como objetivo diseñar un procedimiento para la gestión integral del proceso de obtención de los áridos reciclados, a partir de la demanda de bloques reciclados que comercializa. Proponga el orden de prioridad que según usted debe de tener cada etapa del procedimiento, siendo 1 la primera etapa y 5 la última.

- Preparación para el desarrollo del procedimiento
- Diagnóstico de los RCD
- Determinación del mercado de los RCD
- Planificación y Organización de la GIRCD
- Implementación
- Evaluación y Mejora

La preparación para el desarrollo del procedimiento tiene como propósito informar y capacitar a los especialistas sobre las características generales del territorio y consta de tres pasos: información y capacitación del personal designado, caracterización general del territorio y la elaboración de informe final.

El diagnóstico de los RCD tiene como objetivo proporcionar conocimiento de los RCD, lo que permite detectar las oportunidades de mejora, y consta de dos pasos: identificación de los RCD y la determinación de alternativas de utilización de los áridos reciclados.

La determinación del mercado de los RCD tiene como fin proporcionar conocimiento del mercado de los RCD y se propone su realización en dos pasos: estimación de la generación de RCD y el análisis de la demanda de entidades productoras de materiales de construcción.

La planificación y organización de la GIRCD persigue planificar y organizar la gestión integral de los RCD mediante la definición de la misión, metas, objetivos y alcance, la identificación de actores y sus funciones correspondientes, diseño de la secuencia operacional y la interacción de los flujos materiales, informativos y financieros que comprende el diseño de los procesos, así como la estructuración de la unidad gestora. Para realizarla se tienen en cuenta cuatro pasos: definición de misión, objetivos y metas;

identificación de actores; diseño de diagrama de procesos y la estructuración de la unidad gestora.

La implementación tiene el objetivo de realizar la gestión considerando las tres alternativas propuestas para estructurar la unidad gestora. Para realizarla se tienen en cuenta dos pasos: puntualización y ejecución del proceso de reciclaje.

La Evaluación y Mejora tiene el propósito de evaluar económica, social y ambientalmente el procedimiento utilizado. Para realizarla se tienen en cuenta cuatro pasos: evaluación económica; evaluación social; evaluación ambiental y el plan de mejora.

Escriba en este espacio sus sugerencias y si usted considera necesaria la incorporación de alguna otra etapa:

Fuente: elaboración propia.

Anexo 17. Procedimiento para la aplicación del test de Kendall

Paso 1: Planteamiento de las hipótesis

H_0 : no existe asociación entre el juicio de los expertos.

H_1 : existe asociación entre el juicio de los expertos.

Paso 2: Cálculo del coeficiente de concordancia de Kendall

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} k^2 \left(N^3 - N \right)}$$

Donde:

S: suma de los cuadrados de las desviaciones observadas de la media de R_j

R_j : suma de rangos asignados a cada entidad (objetos, individuos, factores)

k: número de conjuntos de rangos (número de jueces)

N: número de entidades que reciben el orden

Paso 3: Regla de decisión

Prueba de la significación de W:

RC: Si $X^2 \geq X^2$ tabulada o

RC: $p \leq \alpha$ se rechaza la hipótesis nula

Donde:

P = probabilidad de la asíntota de significación

A = Nivel de significación

Paso 4: Toma de la decisión

Si se rechaza la hipótesis nula existe asociación entre el juicio de los expertos en cuanto al orden de las etapas.

Fuente: elaboración propia.

Anexo 18. Encuesta aplicada posterior a la capacitación de los especialistas del Taller de Producción Local de Materiales de Construcción del municipio de Manicaragua

Estimado señor o señora:

La Universidad Central de Las Villas, de conjunto con la Facultad de Ciencias Económicas está realizando un estudio para conocer su opinión acerca de la capacitación recibida por usted mediante el taller realizado, que constituye la base para la aplicación del procedimiento de gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), por lo que es importante que usted responda claramente las preguntas que presentamos a continuación. Para ello pedimos su colaboración y sinceridad al respecto. La encuesta es anónima y totalmente confidencial.

- 1) Participó usted en el taller de capacitación realizado.
 Sí
 No
- 2) Le resultó beneficiosa la capacitación recibida.
 Sí
 No
- 3) Le resultó de utilidad el glosario de términos, como material recibido, durante la capacitación.
 Sí
 No
- 4) Está sensibilizado usted con los principales conceptos de trabajo por el que se aprovechan los residuos.
 Sí
 No
- 5) Marque con una (X) el concepto de trabajo que considera como mejor iniciativa para que se aprovechen los residuos en la entidad:
 Reutilización (utilizar un material o residuo en un mismo estado, o sea sin ningún tipo de transformación).
 Reciclaje (materiales de desperdicio son recolectados y transformados en nuevos materiales).
 Disposición final (materiales sobrantes que no se aprovechan).
- 6) Ordene numéricamente según su experiencia en el taller el concepto de trabajo que representa la mejor opción para que se aprovechen los residuos (siendo 1 el que más se aprovecha y 4 el que menos se aprovecha).

- Reutilización
- Reciclaje
- Disposición final

- 7) Diga si el taller tiene la posibilidad de cumplir el plan de producción para satisfacer la demanda
- Aprovechando los residuos
 - Sin aprovechar los residuos
- 8) Marque con una (X) los volúmenes de residuos que se generan mensualmente en el Taller
- Menos de 20 m³
 - 20-30 m³
 - 30-40 m³
 - Más de 40 m³
- 9) Considera usted que los facilitadores lograron cumplir los objetivos propuestos en materia de gestión de los RCD.
- Sí
 - No
- 10) Marque con una x de las alternativas que se presentan a continuación, las que constituyen conocimientos que usted logró adquirir luego de la capacitación recibida.
- Más informado y capacitado que antes.
 - Identifico los tipos de RCD.
 - Conozco a los generadores de RCD.
 - Conozco las posibles alternativas en las que se puede utilizar el árido reciclado luego del tratamiento de los RCD.
 - Aprendí cómo se estiman los RCD generados.
 - Identifico a los actores que participan en la gestión de los RCD.
 - Conozco el papel del gestor de los RCD.
 - Conozco cómo evaluar los impactos económicos, sociales y ambientales.

Datos personales:

Sexo: F M

Grupo de edad:

- Menor de 20 años
- 21 a 40 años
- 41 a 60 años
- Más de 61 años

Gracias por su colaboración.

Anexo 19. Informe final sobre la caracterización de los RCD en el taller de Manicaragua

Introducción

El objetivo principal del informe es caracterizar la situación de los residuos de construcción y demolición (RCD) en el taller de producción local de materiales de construcción del municipio de Manicaragua, el cual pertenece a la Unidad Empresarial de Base (UEB) 105 de la Empresa Provincial de Producción Local de Materiales de Construcción.

Desarrollo

La tecnología que posee el taller se caracteriza por tener bajos costos de inversión y operación, cuenta con equipamiento para fabricar bloques, además de dos plantas estacionarias, compuestas por un molino de martillo y un remolador de mandíbulas (quijá), los cuales posibilitan a partir del reciclaje de los desechos de construcción, la obtención de árido fino y árido grueso respectivamente. Las principales materias primas que se utilizan en el taller de producción de materiales son la arena lavada, arena artificial, polvo de piedra, granito, cemento y piedra de hormigón.

El proveedor principal es la Empresa de Materiales de Construcción que se encarga de suministrar piedra de hormigón, granito, polvo de piedra, gravilla, cemento. Estos materiales resultan provenientes de las canteras El Purio, Palenque, el Hoyo y la Fábrica de Cemento Carlos Marx de la provincia de Cienfuegos.

Para conocer la situación de los RCD en la entidad se procede a la información y capacitación de los trabajadores a partir de la realización de un taller. Las principales fortalezas y debilidades se reflejan a continuación:

Fortalezas:

- Personal capacitado y sensibilizado con la temática investigada.
- El 100 % de los encuestados considera que el reciclaje es la mejor opción ante la falta de suministro de materiales y materias primas que atentan contra el desaprovechamiento de las capacidades productivas.
- El 100 % de los encuestados considera que el taller cumpliría su plan si contara con moderna tecnología para el reciclaje de los residuos.

- La tienda comercializadora de materiales de construcción cercana a la entidad constituye una fuente suministradora de RCD cuando hay despacho de materiales.
- Se identifican los residuos de construcción generados en la entidad.
- El municipio posee una cantera: El Hoyo.
- Las condiciones del terreno favorecen que afloren las piedras naturales, también conocidas como de potrero.
- Existencia de yacimientos de arcilla que permiten la producción de ladrillos.

Debilidades:

- No se cuenta con los útiles y herramientas necesarios para la ejecución de las actividades productivas.
- Insuficiente motivación de los trabajadores, existe inconformidad con los sistemas de pagos vigentes.
- Los recursos entregados por los proveedores (ocasionalmente) no reúnen la calidad para el cumplimiento del objeto para los cuales están concebidos.
- Los recursos asignados para el cumplimiento de los planes son entregados con déficit y retraso por parte de los proveedores.
- Deficiente atención al hombre (alimentación, ropa, calzado, etc.).
- Utilización de medios artesanales para la fundición de varios renglones elaborados en el taller.
- Insuficientes medios tecnológicos en la actividad del taller, significando que los existentes presentan una tecnología obsoleta.
- La tecnología con más de 10 años de explotación y pocas piezas de repuesto no rinde al 100 %.
- No se realizan frecuentemente los ensayos a todos los productos elaborados por no existir probetas de ensayo.
- La producción de materiales no satisface la necesidad de la población.
- El taller no posee medios técnicos para la transportación de materiales que humanicen el trabajo.
- Dificultades en el aseguramiento de la transportación y combustible para el acarreo de los recursos.

- No se producen bateas ni las cantidades demandadas de viguetas por la mala calidad de los moldes que se deterioran con mayor facilidad.

Conclusiones

1. Los expertos fueron capacitados en su totalidad.
2. Se detectan las principales fortalezas y debilidades del taller.

Anexo 20. Modelo 1. Generación mensual de RCD

Modelo 1: Generación y aprovechamiento mensual de los residuos

marzo

UM: m3

Cantidad de residuos construcción generados

	x	j	v	s	d	l	m	x	j	v	s	d	l	m	x	j	v	s	d	l	m	x	j	v	s	d	l	m	x	j	v	Total
Tipos de residuos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total
De construcción																																
Generados en el taller	2,2	2,4	2,1			2,4	2,5	2,4	1,8	1,7			2,4	2,8	2,5	2,1	1,9			2,4	1,9	2,6	2,5	1,4			1,9	2,7	2,8	3,3	1,3	52,0
Generados en el MINCIN	1,4	1,8	1,9			0,8	1,6	2,3	1,6	0,5			1,2	2,1	1,3	1,8	0,9			0,9	1,6	1,8	1,6	0,3			1,4	1,8	2,1	1,5	0,6	32,7
De excavación																																
Residuos de piedra	0,3	1,2	0,2			0,8	0,7	0,9	1,2	0,0			0,0	1,0	1,2	1,3	0,5			0,9	1,3	2,1	1,1	0,0			0,7	2,0	1,1	1,3	0,3	20,0
Total	3,9	5,4	4,2			4,0	4,8	5,6	4,6	2,2			3,6	5,9	5,0	5,2	3,3			4,2	4,8	6,5	5,2	1,7			4,0	6,5	6,0	6,1	2,2	104,7

Cantidad de áridos reciclados obtenidos

Tipo de árido reciclado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total
De construcción																																
Polvo de piedra	1,4	1,6	1,6			1,2	1,6	1,8	1,3	0,9			1,4	1,9	1,5	1,5	1,1			1,3	1,3	1,7	1,6	0,7			1,3	1,7	1,9	1,9	0,7	32,9
Granito	2,1	2,4	2,3			1,9	2,4	2,7	2,0	1,3			2,1	2,9	2,2	2,3	1,6			1,9	2,0	2,6	2,4	1,0			1,9	2,6	2,9	2,8	1,1	49,3
Total	3,5	4,1	3,9			3,1	3,9	4,6	3,3	2,1			3,5	4,8	3,7	3,8	2,7			3,2	3,4	4,3	3,9	1,6			3,2	4,4	4,8	4,7	1,8	82,2

Cantidad de áridos reciclados obtenidos (m3)

Tipo de árido reciclado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total
De excavación																																
Grava	0,3	1,1	0,2			0,7	0,6	0,8	1,1	0,0			0,0	0,9	1,1	1,2	0,5			0,8	1,2	1,9	1,0	0,0			0,6	1,8	1,0	1,2	0,3	18,0

Anexo 21. Modelo 2. Generación y aprovechamiento anual de los RCD

Modelo 2: Generación y aprovechamiento anual de los residuos

Cantidad de residuos construcción y excavación generados (m³)

Tipos de residuos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
De construcción:													
Generados en el taller	48,0	46,0	52,0	50,0	51,0	49,0	53,0	44,0	56,0	51,0	52,0	48,0	600,0
MINCIN	28,0	25,0	36,0	28,0	32,0	30,0	28,0	30,0	31,0	30,0	32,0	30,0	360,0
Subtotal	76,0	71,0	88,0	78,0	83,0	79,0	81,0	74,0	87,0	81,0	84,0	78,0	960,0
De excavación:													
Piedra de potrero	30,0	25,0	20,0	15,0	20,0	20,0	30,0	25,0	20,0	15,0	40,0	32,0	292,0
Total	106,0	96,0	108,0	93,0	103,0	99,0	111,0	99,0	107,0	96,0	124,0	110,0	1252,0

Cantidad de áridos reciclados obtenidos (m³)

Tipo de árido reciclado	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
De construcción:													
Polvo de piedra	29,5	27,5	34,1	30,3	32,2	30,7	31,4	28,7	33,8	31,4	32,6	30,3	372,5
Granito	44,2	41,3	51,2	45,4	48,3	46,0	47,1	43,1	50,6	47,1	48,9	45,4	558,7
Total	73,7	68,9	85,4	75,7	80,5	76,6	78,6	71,8	84,4	78,6	81,5	75,7	931,2

Cantidad de áridos reciclados obtenidos (m³)

Tipo de árido reciclado	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
De excavación:													
Grava	27,0	22,5	18,0	13,5	18,0	18,0	27,0	22,5	18,0	13,5	36,0	28,8	262,8

Anexo 22. Metodología empleada para el cálculo de las emisiones

Se calculan las emisiones totales teniendo en cuenta las dos alternativas:

- Bloque de 10 cm con AN.
- Bloque de 10 cm con AR.

$$Emisiones_{totales} = Emisiones_{proceso\ productivo} + Emisiones_{producción\ materiales}$$

Donde:

$$Emisiones_{proceso\ productivo} = Emisiones_{proceso\ electricidad} + Emisiones_{transporte\ materiales}$$

$$Emisiones_{proceso\ electricidad} = Consumo\ energía(kw/h) * Factor\ emisión\ generación\ energía\ (kgCO_2/kwh)$$

$$Emisiones_{proceso\ electricidad} = 5\ kw/h * 0,000744\ kgCO_2/KWh = 0,004\ kgCO_2$$

El cálculo de las Emisiones transporte de materiales se presenta en la tabla siguiente:

Material	Distancia (km)		Cap. (m ³)	P.E (kg/m ³)	km/kg		Cons (L/km)	L/kg		kg combustible/kg		Emisiones (kg CO ₂ /kg)	
	AN	AR			AN	AR		AN	AR	AN	AR	AN	AR
Arena	14	11	10	1500	0,09	0,07	0,33	0,03	0,02	0,03	0,02	0,08	0,07
Cemento	65	65	30	1200	1,63	1,63	0,4	0,65	0,65	0,54	0,54	1,75	1,75
Granito	78	0	10	1450	0,54	0,00	0,33	0,18	0,00	0,15	0,00	0,48	0,00
Polvo	17	0	10	1400	0,12	0,00	0,4	0,05	0,00	0,04	0,00	0,13	0,00
Grava	0	15	10	1750	0,00	0,09	0,33	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,08
TOTAL												2,44	1,89

El cálculo de las Emisiones producción material se realiza utilizando la fórmula siguiente:

$$Emisiones_{producción\ materiales} = \sum_{i=1}^n Emisiones\ productos$$

Material	Energía Producción (kWh/m ³) A	Consumo de materiales B		Total, consumo kWh C= A*B		Emisiones (kg/CO ₂) E=C*D	
		AN	AR	AN	AR	AN	AR
Arena	3,84	0,003	0,001	0,0115	0,004	0,000	0,00
Cemento	-	1,39	1,39	-	-	0,89*	0,89*
Granito	2,4	0,005	0,0025	0,012	0,006	0,00	0,00
Polvo	2,4	0,0007	0,0007	0,0016	0,0016	0,00	0,00
Grava	2,4	0	0,0045	0	0,011	0	0,00
Factor de emisión electricidad: 0,000744 kgCO ₂ /kWh (D)							
*Emisiones cemento= 0,89 CO ₂ /kg *1,39 kg/m ³							

Fuente: elaboración propia a partir de (Crespo, 2014)

Anexo 23. Comparación de categorías de impacto y de daños en el bloque de 10 cm con AN y con AR

Tabla 30. Comparación categorías de impacto bloque de 10 cm con AN y AR

Principales categorías de impacto	Bloque de 10 cm AN	Bloque de 10 cm AR
Calentamiento global	100	89
Agotamiento de ozono	100	91
Formación de partículas finas	100	67
Uso del suelo	100	95
Escasez recursos minerales	100	97
Escasez recursos fósiles	100	90
Consumo de agua	100	78

Fuente: elaboración propia a partir de la salida del SIMAPRO

Tabla 31. Comparación categorías de daños bloque de 10 cm con AN y AR

Categorías de daño	Bloque de 10 cm AN	Bloque de 10 cm AR
Salud Humana	100	74
Ecosistemas	100	89
Recursos	100	94

Fuente: elaboración propia a partir de la salida del SIMAPRO

Anexo 24. Inventario de entradas y salidas del sistema para cada alternativa

Tabla 32. Inventario de entradas y salidas del sistema para cada alternativa

Entradas y salidas del sistema o producto para cada alternativa	UM	Valor numérico	
		Bloque de 10 cm	
		AN	AR
<i>Entradas de la naturaleza</i>			
Agua	L	0,72	0,54
Árido			
• Arena lavada	kg	4,092	1,364
• Granito	kg	7,125	3,5625
• Polvo de piedra	kg	0,973	0,973
• Grava	kg		6,39
Terreno ocupado	m ² /año	0,04	0,04
Electricidad			
• 220 V	kWh	5	5
Transporte de áridos			
• Arena	km kg	45,012	15,004
• Granito	km kg	548,625	0
• Polvo	km kg	74,921	0
• Grava	km kg	-	95,85
Transporte cemento	km kg	90,35	90,35
Cemento	kg	1,39	1,39
• Polvo	kg/m ³	0,0002	0,00015
• Probetas	m ³	0,009	-

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el taller de producción local de materiales de construcción.

Anexo 25. Categorías de impacto analizadas en el estudio

Categoría de impacto potencial	Sustancia de referencia	Descripción
Calentamiento Global (Cambio climático)	kg CO ₂ eq	El cambio climático causa varios mecanismos ambientales que afectan tanto la categoría final salud humana como los ecosistemas. Los modelos de cambio climático son en general desarrollados para evaluar los impactos medioambientales futuros en diferentes escenarios. Para la metodología intermedia, Recipe usa los factores de equivalencia aceptados del CO ₂ publicados por el reporte de IPCC en 2007.
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC-11 eq	El factor de caracterización para la disminución de la capa de ozono contabiliza la destrucción de la capa de ozono estratosférica debido a las emisiones de sustancias agotadoras de este. Debido a su larga permanencia en la atmósfera, estas sustancias promueven el alcance de átomos de cloro y bromo en la estratosfera, conduciendo al agotamiento del ozono estratosférico en todo el planeta. La categoría disminución de la capa de ozono ha sido definida como la medida relativa de la capacidad de disminución de la capa de ozono y usa CFC-11 (triclorofluorometano) como referencia. CFC-11 se calcula como la suma de los potenciales de agotamiento de ozono, para las diferentes sustancias, multiplicados por la masa en kg de cada una de ellas. El potencial de disminución se expresa en unidades relativas al efecto que produce 1 kg de CFC-11.
Formación de partículas finas	kg PM10 eq	El material particulado fino con diámetro menor de 10 µm (PM10) representa una compleja mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas. PM10 causa problemas de salud alcanzando la parte superior de las vías respiratorias y los pulmones cuando es inhalado. Aerosoles PM10 secundarios se forman a partir de las emisiones al aire de dióxido de azufre (SO ₂), amoníaco (NH ₃) y óxidos de nitrógeno (NO _x), entre otros. La inhalación de partículas de diámetro entre 2,5 y 10 µm (PM _{2.5-10}), puede causar impactos visibles en la morbilidad respiratoria, según la OMS. PM tiene su origen en fuentes antropogénicas y naturales. En el nivel intermedio la formación de material particulado se expresa en PM10-equivalente.
Uso del suelo	m ² a crop eq	Se utiliza para denotar impactos medioambientales referidos a ocupación y transformación física de áreas de terreno. Los principales daños que se incluyen son los producidos sobre la biodiversidad, el potencial de producción biótica (incluyendo la fertilidad del suelo y el valor de uso de la biodiversidad) y la calidad ecológica del terreno (incluyendo las funciones de soporte vital del terreno distintas de la producción biótica o de biomasa del mismo, ya sea como elemento del ciclo del agua, carbono y nutrientes, como filtro de contaminantes químicos o como hábitat de flora y fauna). Debido a la importancia en la calidad de un determinado paisaje y su influencia en el ser humano, el impacto visual o paisajístico también se puede

		considerar que es un impacto causado por el uso del suelo. Esta cuantificación se estima en m ² de cultivos anuales por año equivalentes (m ² a crop-eq).
Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	Se incluyen los impactos relacionados con la extracción primaria del recurso mineral, el decrecimiento de la ley del mineral, y el aumento de la producción de mineral por cada kilogramo de recurso mineral extraído. El agotamiento de recursos minerales es cuantificado en kilogramos de cobre equivalente (kg Cu-eq).
Escasez de combustibles fósiles	kg oil eq	Esta categoría de impacto se relaciona con la protección del bienestar humano, la salud humana y de los ecosistemas. Está relacionada con la extracción de combustibles fósiles. El factor de disminución de combustibles fósiles es determinado para la extracción de cada combustible en kg de oil equivalente/kg de extracción. Este indicador se aplica a escala global.
Consumo de agua	m ³	Consumo de agua de diferentes tipos de fuentes de agua fresca superficial y subterránea, incluida el agua de refrigeración, durante todo el ciclo de vida. Esta categoría se cuantifica en metros cúbicos de agua (m ³).

Fuente: elaborado a partir de (Sánchez-Berriel, 2017).