

Desarrollo de una metodología para cuantificar residuos plásticos en el sector construcción de Costa Rica



MINISTERIO DE
AMBIENTE Y ENERGÍA

GOBIERNO
DE COSTA RICA



MINISTERIO
DE SALUD

GOBIERNO
DE COSTA RICA



Sandra Sosa Cárcamo

Representante Residente, Programa de Naciones Unidas para Desarrollo (PNUD)

Kifah Sasa Marín

Representante Residente Adjunto, Programa de Naciones Unidas para Desarrollo (PNUD)

Elena Vargas Fonseca

Asesora de la Cartera de Naturaleza Clima y Energía

Dixania Azofeifa Duarte

Coordinadora de Proyecto

Elaborado por

Romano Andrade Valverde, Consultor PNUD

Comité Editorial de PNUD

Charleene Cortez Sosa, Especialista en Gestión de Conocimiento

Glomara Iglesias Álvarez, Especialista en Comunicación

José Daniel Estrada Sánchez, Especialista en Monitoreo y Evaluación

Rafaella Sánchez Mora, Especialista en Género

Diseño y diagramación

Isaí López Morales

Para indicar la fuente se solicita realizarlo de la siguiente manera:

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2025) Desarrollo de una metodología para cuantificar residuos plásticos en el sector construcción de Costa Rica Costa Rica.

Financiado por el Fondo Frances para el Medio Ambiente Mundial (FFEM)

Está autorizada la reproducción total o parcial de esta publicación con propósitos educativos y sin fines de lucro, siempre que se utilice la referencia respectiva. Para el uso no se requiere ningún permiso especial del titular de los derechos. Este material se encuentra disponible en <https://pnud-conocimiento.cr>

Posición del autor y del PNUD

Las opiniones expresadas en este documento son únicamente las del autor y no reflejan necesariamente las posturas oficiales de toda la organización. Este trabajo fue desarrollado por encargo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y no compromete las opiniones institucionales del mismo.



Este documento se encuentra protegido por la Licencia Creative Commons CC BY-SA 4.0 Atribución/Reconocimiento-CompartirIgual-no comercial 4.0 Internacional

PNUD-Costa Rica agradecerá que se remita un ejemplar de cualquier texto elaborado con base en la presente publicación a la siguiente dirección o correo:

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Costa Rica.

Edificio Sigma, Edificio B, Piso 3, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica

Teléfono: (506) 2296-1544

Web: <https://www.undp.org/costa-rica>

Email: registry.cr@undp.org / comunicaciones.cr@undp.org

Derechos de propiedad intelectual: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD-Costa Rica) © 2025

363.72
A571v

Andrade Valverde, Romano 1962- autor(a)
Desarrollo de una metodología para cuantificar residuos plásticos
en el sector construcción de Costa Rica . / Romano Andrade
Valverde – Primera edición – San José, Costa Rica: Programa de
las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2025 .

Recurso en línea (VII, 58 p. : il., gráf. ; PDF, 14.5 MB),

ISBN : 978-9968-794-97-8

1. Residuos plásticos 2. Sostenibilidad ambiental 3. Construcción
4. Desarrollo sostenible. 5. Vida útil de plásticos. 6. Medio
Ambiente II. Título.

Thema:

TQJQ – Procesos de reciclaje y gestión de residuos

TQKC – Materiales de construcción y técnicas de construcción

RNT – Gestión sostenible de recursos

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. LA CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA.....	11
I. La clasificación de la construcción en Costa Rica.....	12
II. Información estadística del CFIA.....	12
III. La problemática de la construcción clandestina (sin permiso).....	16
3. EL USO DEL PLÁSTICO Y LA CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA.....	17
I. Los materiales plásticos.....	17
II. Materiales sustituidos por plásticos en construcción.....	19
III. Revisión histórica del plástico en construcción en Costa Rica.....	20
4. IMPORTACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA.....	23
5. PLÁSTICOS EN CONSTRUCCIONES EN COSTA RICA: PRÁCTICAS ACTUALES Y PERSPECTIVAS DE CAMBIO.....	24
I. Descripción cualitativa.....	24
6. PERSPECTIVAS DE VIDA ÚTIL DE LOS PRODUCTOS PLÁSTICOS EN CONSTRUCCIÓN.....	25
I. Factores que inciden en la vida útil de un plástico.....	26
II. La incidencia de la luz en la vida útil de un plástico.....	26
III. La presencia de retardantes de llama en la vida de un plástico.....	27
IV. Estimación de vida útil de acabados.....	28
V. El tipo de construcción y su vida útil.....	30
VI. La generación de residuos plásticos en construcción.....	32
VII. Estimación de desperdicio-residuos y sus causas.....	32

7. NORMATIVAS TÉCNICAS Y JURÍDICAS PARA LA REGULACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN CONSTRUCCIÓN.....	34
I. Normativa nacional.....	34
II. Normativa Internacional.....	35
8. EXPERIENCIAS EN LA CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.....	39
9. ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA.....	42
10. RECUPERACIÓN Y RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN: CASO DEL PVC.....	45
11. PRINCIPALES HALLAZGOS DEL PROCESO DE MAPEO Y CONSULTA DE FUENTES DE INFORMACIÓN.....	46
12. PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN SECTOR CONSTRUCCIÓN / REMODELACIÓN / DEMOLICIÓN.....	52
13. RECOMENDACIONES.....	60
14. ABREVIATURAS.....	61
15. FUENTES CONSULTADAS.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas de retención de agua lluvia de polietileno.....	7
Figura 2. Vallecas 51, Madrid, con envolvente de policarbonato de tres tonos de verde.....	8
Figura 3. Watercube, edificio para competencias de natación, Beijing en EFTE.	9
Figura 4. Producción Mundial de residuos plásticos 1980-2023.....	9
Figura 5. Millones de metros cuadrados tramitados ante el CFIA por año.....	12
Figura 6. Estructura de un cable media tensión	19
Figura 7. Importación de materiales plásticos relacionados con la industria de la construcción.....	23
Figura 8. Vida media de plásticos según sus usos.	25
Figura 9. Porcentaje de residuos generados por país de la Unión Europea en 2024	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. La clasificación del CFIA de los tipos de construcción	12
Tabla 2. Cantidad de construcción total tramitada en el CFIA según clasificación	14
Tabla 3. Cantidad de construcción habitacional tramitada en el CFIA según tipo	15
Tabla 4. Cantidad de construcción total en función de su propósito.....	15
Tabla 5. Cantidad de construcción para proyectos habitacionales en función de su propósito.....	16
Tabla 6. Desarrollo de tecnología de polímeros en producción industrial.....	18
Tabla 7. Materiales reemplazados por plásticos en la construcción domiciliar.....	20
Tabla 8. Clasificación de materiales plásticos según su combustibilidad	27
Tabla 9. Estimación de vida útil por tipo de material	28
Tabla 10. Estimación de vida útil de elementos de sistemas eléctricos.....	29
Tabla 11. Estimación de vida útil de elementos de sistemas mecánicos.....	30
Tabla 12. Tipologías de viviendas, sus vidas útiles estimadas y su valor por metro cuadrado.....	31
Tabla 13. Tabla de generación de residuos plásticos en construcción en España.....	41
Tabla 14. Revisión bibliográfica de estudios sobre generación de RCD ²	41
Tabla 15. Reportes de generación de residuos de construcción por m ²	43
Tabla 16. Estimación de residuos plásticos en construcción nueva.....	44

1

INTRODUCCIÓN

El papel que juegan los plásticos en nuestra vida cotidiana es innegable. Existen muchos tipos de polímeros plásticos y su versatilidad ha llenado el mercado de todas las actividades humanas con este tipo de materiales. Los tipos de materiales, por tipo de resina se pueden apreciar en la Figura 1. Podemos ver que todas las resinas disponibles la mayor proporción se le asigna a otro tipo de resinas que pueden ser mezclas combinaciones o copolímeros lo que hace el proceso de reciclaje muy complejo. En segundo lugar, se encuentra el polipropileno y, en tercer lugar, el polietileno de baja y de muy baja densidad, seguido el polietileno de alta o mediana densidad en cuarto lugar.

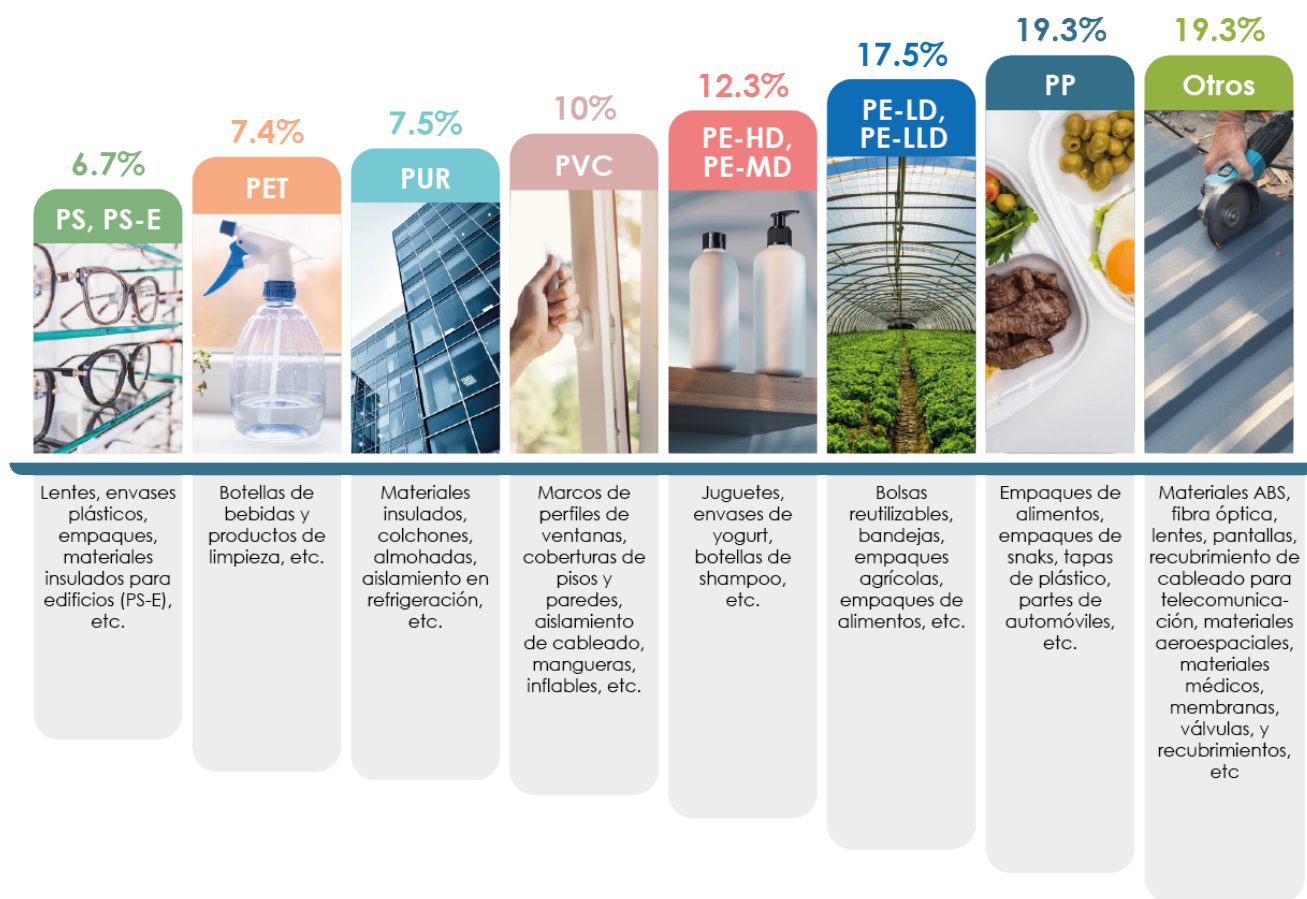


Figura 1. Tipos de plástico usados, por tipo de polímero, en la Unión europea, en el 2016

Fuente: Chalmin, 2019.

El polipropileno y los diferentes polietilenos podrían ser reciclados, recuperados con cierta facilidad si se pudieran separar los tipos de resina respectivamente. Esto complica el problema puesto que se tendrían en realidad 5 tipos de resinas en lugar de solamente dos.

El principal uso que tienen los productos plásticos es el de empaque, con un casi 40% del mercado, seguidos de los productos para la construcción, con un 20%. Esto se puede ver en la Figura 2 que muestra los datos de la Unión Europea en el año 2016. Esta situación seguirá evolucionando con el tiempo, y es probable que el uso de plásticos en la construcción continúe incrementándose. Cada año aparece nuevos materiales, normalmente compuestos, con nuevas propiedades y nuevos usos que superan a los productos convencionales. Un ejemplo de estos son los materiales compuestos de madera y PVC y de papel con PVC para dar tabillas, acabados para exteriores y pisos y para otro tipo de superficies de alta resistencia. Esto hace al sector de la construcción un elemento importantísimo para conocer los flujos de materiales plásticos y poder gestionar su uso a futuro. Es por esa razón que el establecer mecanismos para conocer los elementos del ciclo de vida de los elementos plásticos en construcción es importante y plantea una serie de retos complejos. Esto es fundamental para poder gestionar el uso de plásticos en general.

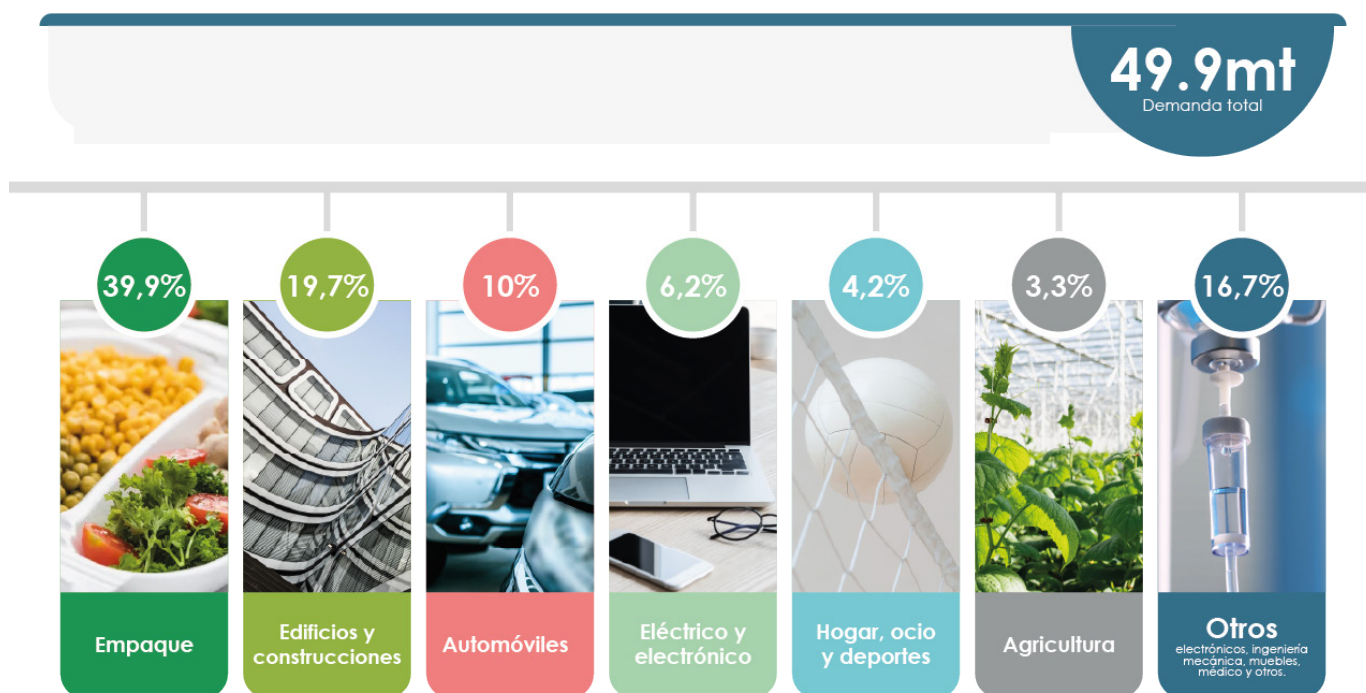


Figura 2. Uso del plástico en la Unión Europea en el 2016.
Fuente: Chalmin, 2019.

Como un punto de partida, podemos ver la composición de los diferentes plásticos en la industria de la construcción que se reportan en la Unión Europea para el año 1995, como se muestra en la Figura 3. Estos datos nos dan una idea de la complejidad de la tarea que se emprende.

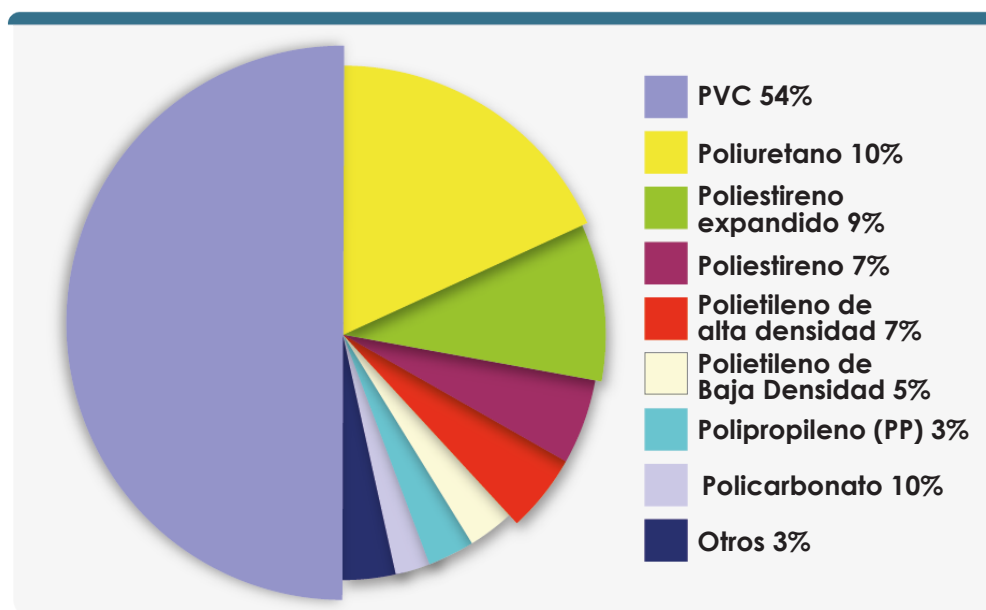


Figura 3. Plásticos usados en construcción en la Unión Europea, 1995.

Fuente: Centro de Información Técnica, 2024.

Para analizar la generación de residuos plásticos provenientes de construcción y demolición, se tiene necesariamente que abordar la generación de residuos de construcción y demolición (RCD) totales.

El dato más reciente con que se cuenta data del año 2011, cuando se estimó que diariamente se producían en Costa Rica 1800 TM de RCD. “El mal manejo de estos residuos suele generar botaderos clandestinos, que provocan, no solo obstrucciones en ríos, terrenos y vías públicas, sino también, riesgos directos e indirectos sobre la salud humana y elevados costos de mantenimiento y restauración ambiental.” (UICN, 2018).

El sector de construcción es la segunda industria en consumo de materiales plásticos, sin embargo, la generación de los residuos está entre las más bajas en comparación con las otras industrias. Esto se debe principalmente a que los materiales plásticos en construcción tienen el ciclo de vida más largo, llegando hasta 50 años y más.

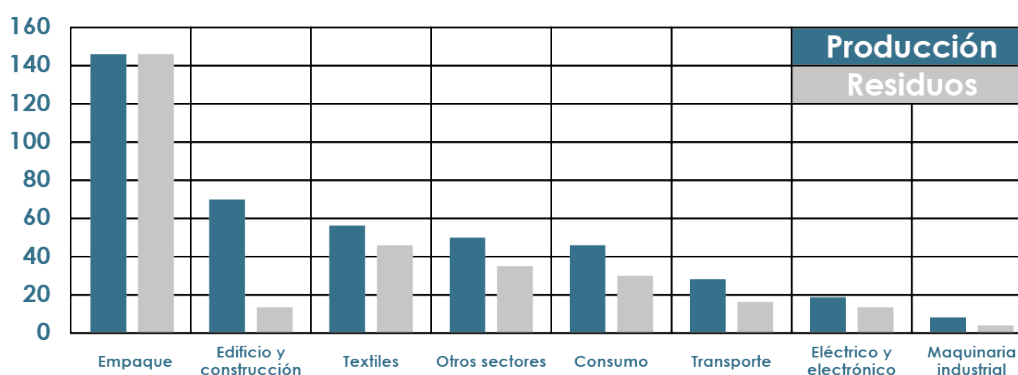


Figura 4. Consumo de materiales plásticos y generación de residuos por industria a nivel mundial 2015.

Fuente: Yizhaki-Madar, 2024.

Ahora bien, si consideramos que fue a partir de la segunda mitad del siglo XX que se dio la explosión en el mercado de la industria plástica, y cuando se empezó a utilizar materiales plásticos en las construcciones, se concluye que estos materiales plásticos están fijados a mediano y largo plazo. Pero, conforme se acerque el final de la vida útil de las edificaciones que los contienen, así empezará a crecer la generación de residuos plásticos provenientes de este sector y la liberación de sustancias contaminantes asociadas.

A manera de ejemplo, cabe mencionar que la industria de la construcción es el mayor consumidor de policloruro de vinilo (PVC) que es empleado en tuberías, grifería, cables, cielorrasos, pisos, marcos de ventana, papel tapiz y accesorios eléctricos en la construcción. Las ventas anuales de PVC en el año 2021 en EEUU, fueron de 6.8 millones de TM, de las cuales 4.76 millones de TM (70%) se emplearon en el sector de construcción (European Chemicals Agency, 2023). Si bien el porcentaje es bajo comparado con la producción de cemento que fue de 91 millones de TM (Fernández, 2024), no deja de poner en discusión el tema de la contaminación que se genera en el momento de la realización de la obra de construcción y a futuro a lo largo de la vida útil de la misma y hasta la demolición. El PVC es uno de los polímeros plásticos más versátiles y de bajo costo. Para brindarle propiedades específicas, se emplea una gran cantidad de aditivos.

La Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA), ha identificado cerca de 470 aditivos para PVC y 63 de ellos se han listado como prioritarios en una investigación sobre el impacto a la salud y al medio ambiente. Los aditivos para PVC se pueden agrupar en tres grandes familias: estabilizadores para calor, plastificantes y retardantes de flama. La ECHA llama la atención a la necesidad regular el empleo de estos aditivos en particular los plastificantes tipo orto-ftalatos, que han sido confirmados como disruptores endocrinos que afectan el funcionamiento del sistema endocrino y el sistema reproductivo en los seres humanos.

Este trabajo, llevará a cabo un análisis exhaustivo de las normativas técnicas y legales tanto a nivel nacional como internacional, seleccionando una muestra representativa de países ubicados en diversas regiones y continentes. Asimismo, se realizará una revisión de las experiencias relacionadas con la cuantificación de los residuos plásticos generados en los procesos de construcción y demolición, junto con la identificación de las fuentes de información pertinentes.



2

LA CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA

En Costa Rica el decreto N° 36550-MP-MIVAH-S-MEIC, Reglamento para el Trámite de Revisión de los Planos para la Construcción, regula la forma en que los planos constructivos deben de ser gestionados y procesados. Este decreto nombra al Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA) como el ente que procesa toda la información de los proyectos de construcción y la remite a los diferentes gobiernos cantonales.

Esta centralización de la información permite generar y mantener una base de datos centralizada y generar las estadísticas relacionadas con el sector de la construcción en el país, en sus diferentes modalidades.

El flujo de información se desarrolla de la siguiente manera:

El profesional responsable genera un anteproyecto y lo sube a la plataforma del CFIA. Posteriormente, se cargan los planos constructivos y, según las características del proyecto, se registran los demás profesionales responsables que sean necesarios. Una vez evaluado el costo del proyecto, verificados los requisitos reglamentarios correspondientes y pagado el canon del CFIA, la solicitud es remitida a las municipalidades correspondientes.

Es la municipalidad la encargada de emitir el permiso de construcción, con base en los reglamentos y requisitos aplicables, entre los cuales se incluye la presentación de la póliza del Instituto Nacional de Seguros y el pago del impuesto municipal correspondiente.

La información de cada municipalidad es luego enviada al Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), que a su vez la remite al Banco Central de Costa Rica para generar el Índice Mensual de Actividad Económica (IMAE) y el Producto Interno Bruto (PIB) relacionado con la actividad constructiva (CFIA, 2022). No obstante, en las municipalidades, el flujo de información tiende a dispersarse y fragmentarse. En este sentido, la plataforma del CFIA constituye la fuente más confiable para captar la información, dado que toda obra que se vaya a construir o remodelar debe, por ley, pasar por su aprobación.

I. La clasificación de la construcción en Costa Rica

Para poder sistematizar la información de la construcción en Costa Rica el CFIA emplea una clasificación única que ha mantenido a lo largo de los años. Esta se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. La clasificación del CFIA de los tipos de construcción

Clasificación	Tipo de construcción
Habitacional	Casa, condominio, apartamento e interés social
Comercial	Local, oficinas, supermercados
Infraestructura	Urbanizaciones, condominios de lotes, carreteras y puentes
Industrial	Bodegas y telecomunicaciones
Institucional	Escuelas, Colegios y Edificios Públicos
Obras complementarias	Parqueos, parques y piscinas
Otros	Salud / sanitario, religioso, agroindustrial y turismotros

Fuente: CFIA, 2024.

II. Información estadística del CFIA

Todo el trámite de construcción debe pasar por el CFIA. Esto le ha permitido tener estadísticas de la cantidad de metros construidos o en proyección de construirse a lo largo de los años. Por ejemplo, podemos ver en la Figura 5 los metros cuadrados que fueron tramitados en el CFIA desde el año 2004 hasta el año 2023.

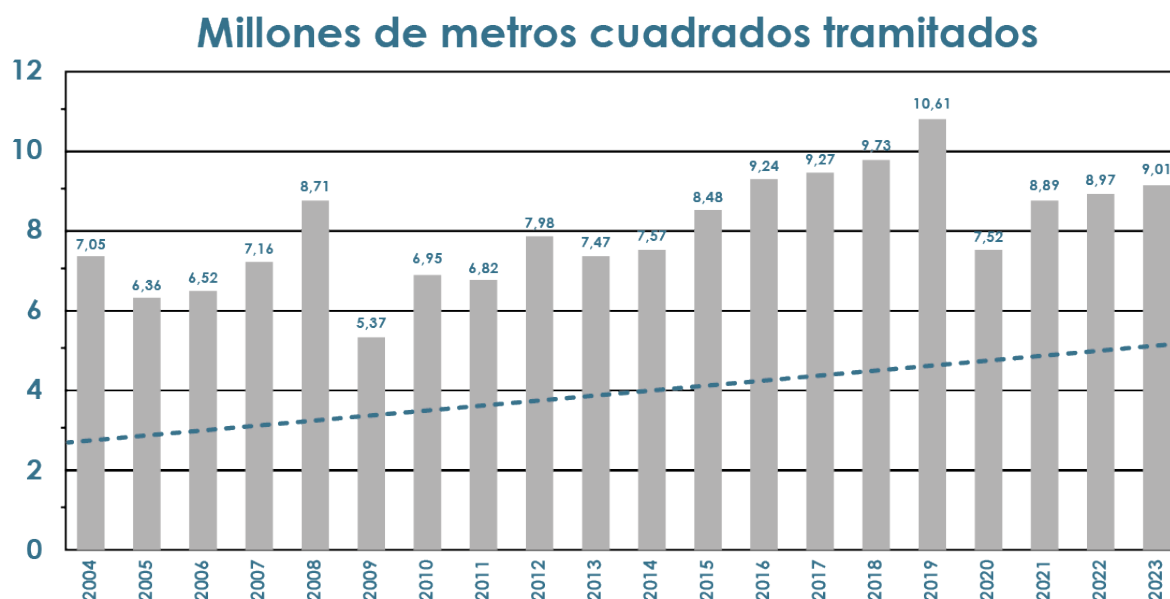


Figura 5. Millones de metros cuadrados tramitados ante el CFIA por año.

Fuente: CFIA, 2023.

Con base en los datos obtenidos de todos los proyectos tramitados en Costa Rica, el CFIA emite comunicados proyectando la construcción del siguiente año. Los planos nuevos registrados en la plataforma de topografía son un buen indicador de la cantidad de proyectos que se registrarán al año siguiente en la plataforma de proyectos constructivos. Se ha encontrado que los metros finalmente construidos son, aproximadamente, de los metros de construcción tramitados se construye el 95% en promedio. De esta forma, las dos plataformas, sirven para estimar cuál va a ser el movimiento de la construcción en años futuros. Los resultados presentados en esos reportes se pueden observar en la Tabla 2, que tiene los valores, en miles de metros cuadrados, de todas las construcciones tramitadas en el CFIA para el período 2010-2022.

La Tabla 3 muestra la cantidad de construcción con fines habitacionales y su distribución según subcategoría. Las subcategorías son casa, casa de interés social, condominio, apartamento y otras obras habitacionales. Se observa como la construcción de casas de interés social es relativamente pequeña considerando las necesidades de construcción.

En la Tabla 4 muestran los totales de construcciones nuevas, las remodelaciones, los trámites de trabajos eléctricos y las de ampliación. Es importante recalcar que mucha obra de remodelación o de ampliación podría no necesariamente pasar por el CFIA y podría constituir parte de lo que se conoce como construcciones sin permiso o clandestinas, las cuales se realizan por los propietarios sin contar con el permiso municipal. Situación similar sucede con las obras de instalaciones eléctricas. Aunque, si hay un profesional responsable de esta, probablemente lo registraría en el CFIA.

La Tabla 2 que tiene la misma información, pero para obras residenciales. Se tienen construcciones habitacionales, comerciales, de infraestructura industrial, institucionales, complementarias y otras. Además, el CFIA separa las construcciones habitacionales en: casas, apartamentos, casas de interés social, condominios y otras obras habitacionales. También se van a clasificación de las obras en obra nueva remodelación ampliación u obra eléctrica. Es toda la posibilidad de cuantificar la cantidad de obra que está haciendo remodelada, pero no se tiene información específica de qué tipo de remodelación es o qué tipo de desechos tiene. Los datos estadísticos de este último tipo se pueden apreciar en las estadísticas que nos provee el CFIA.

Tabla 2. Cantidad de construcción total tramitada en el CFIA según clasificación.

Año	Habitacional	Urbanístico	Comercial	Industrial	Obras complementarias	Otros	Institucional	Total
2010	2.610	1.390	1.240	610	460	330	310	6.950
2011	2.590	920	1.430	720	240	450	470	6.820
2012	2.900	1.170	1.760	950	330	380	490	7.980
2013	3.080	1.110	1.490	820	300	290	380	7.470
2014	3.580	1.391	1.512	657	259	259	380	8.038
2015	3.935	1.360	2.025	824	280	280	490	9.194
2016	4.251	1.676	2.544	579	330	362	645	10.387
2017	3.517	2.496	2.125	774	430	310	520	10.172
2018	3.525	2.770	2.157	860	545	330	413	10.600
2019	3.947	2.555	2.345	816	969	518	178	11.328
2020	2.901	1.587	1.721	1.002	609	390	112	8.321
2021	3.974	2.215	1.808	892	300	483	142	9.815
2022	4.034	2.066	1.910	902	608	321	92	9.933
Total	44.844	22.706	24.067	10.406	5.659	4.703	4.623	117.009
	38,3%	19,4%	20,6%	8,9%	4,8%	4,0%	4,0%	38,3%

* en miles de metros cuadrados

Fuente: CFIA, 2023.

Tabla 3. Cantidad de construcción habitacional tramitada en el CFIA según tipo

Año	Casa	Interés social	Condominio	Apartamento	Otras obras habitacionales	Total
2010	1.260	440	510	370	30	2.610
2011	1.540	310	260	370	110	2.590
2012	1.500	430	550	370	50	2.900
2013	1.610	520	430	370	150	3.080
2014	1.747	469	634	518	212	3.580
2015	2.038	545	874	400	78	3.935
2016	2.278	634	614	580	146	4.252
2017	2.136	482	552	327	20	3.517
2018	1.899	595	559	423	49	3.525
2019	2.066	667	588	457	169	3.947
2020	1.670	609	246	192	187	2.904
2021	2.535	527	334	283	295	3.974
2022	2.592	384	646	363	49	4.034
Total	24.872	6.612	6.797	5.024	1.545	44.848
	55,5%	14,7%	15,2%	11,2%	3,4%	

* en miles de metros cuadrados

Fuente: CFIA, 2023.

Tabla 4. Cantidad de construcción total en función de su propósito

Año	Nuevo	Remodelación	Obra eléctrica	Ampliación	Total
2014	6.100	700	500	700	8.000
2015	6.300	1.200	700	1.000	9.200
2016	6.800	1.400	1.100	1.000	10.300
2017	5.800	2.400	900	1.100	10.200
2018	6.800	1.300	900	1.600	10.600
2019	8.004	1.178	713	1.432	11.328
2020	5.463	1.164	798	896	8.321
2021	6.736	1.253	921	905	9.815
2022	7.259	1.062	965	648	9.933
Total	59.262	11.657	7.497	9.282	87.697
	67,6%	13,3%	8,5%	10,6%	

* en miles de metros cuadrados

Fuente: CFIA, 2023.

Tabla 5. Cantidad de construcción para proyectos habitacionales en función de su propósito

Año	Nuevo	Remodelación	Obra eléctrica	Ampliación	Total
2014	2.910	130	220	180	3 440
2015	3.250	160	260	190	3 860
2016	3.280	170	520	150	4 120
2017	2.700	160	460	170	3 490
2018	2.680	190	340	180	3 390
2019	3.158	162	332	296	3 947
2020	2.033	148	302	418	2 901
2021	2.782	246	501	445	3 974
2022	3.106	198	351	375	4 030
Total	25.900	1.564	3.285	2.404	33.152
	78,1%	4,7%	9,9%	7,3%	100,0%

* en miles de metros cuadrados

Fuente: CFIA, 2023.

III. La problemática de la construcción clandestina (sin permiso)

La construcción clandestina sigue siendo una problemática presente. Los costos de los profesionales, de los permisos respectivos, de las pólizas, sumado a los costos de materiales y mano de obra, desincentiva completar el proceso de registro y aprobación. Según estimaciones del CFIA, la cantidad de construcciones/remodelaciones sin permiso rondan el 23% de todos proyectos visitados. Esa es una cantidad considerable y se están haciendo esfuerzos para poder disminuir estos valores y poder llevar toda la construcción a la legalidad. Esto es muy importante, porque en las construcciones clandestinas no existen profesionales responsables y no se tiene la certeza de la calidad constructiva, de diseño y de resistencia sísmica que tengan las edificaciones que se hacen bajo esta modalidad.

Esta deficiencia puede poner en riesgo la vida de las personas en caso de un sismo o cualquier otro evento natural. En los referentes de estudio esta cantidad de construcción clandestina dificulta una cuantificación de la cantidad de plástico en la construcción, y por ende los residuos que podrían estar siendo generados.

3

EL USO DEL PLÁSTICO Y LA CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA

I. Los materiales plásticos

El uso masivo de los polímeros, especialmente los plásticos, comenzó en la segunda mitad del siglo XX. Durante la II Guerra Mundial, las resinas sintéticas hicieron su aparición, inicialmente reemplazando los polímeros naturales, como el derivado del aceite de linaza, utilizado en la industria de pinturas y recubrimientos. Los polímeros plásticos más utilizados hoy día, como el policloruro de vinilo (PVC), el polietileno (PE) y el poliestireno (PS) fueron desarrollados en la década de los años 30 del siglo pasado.

En 1953, Herman Staundinger recibió el premio Nóbel en química, debido a su trabajo de investigación y al descubrimiento de las macromoléculas, las cuales se encuentran en muchos materiales de origen natural, así como en materiales sintéticos. Por este descubrimiento se le considera el "Padre de los Plásticos" y sus trabajos en polímeros se inician con una publicación de 1926. Años antes en 1924 el norteamericano Leo Baekeland presentó su desarrollo del primer plástico sintético termo-estable, hoy conocido como bakelita y el cual se comercializó en 1948 en aplicaciones como bolas de billar en sustitución al marfil y en puentes y aislantes eléctricos. Entre 1952 y 1955 se desarrollaron los policarbonatos, polímeros transparentes y rígidos una vez polimerizados.

Pero no fue sino hasta el auge económico de la industria de postguerra y ya en los años 60 que los plásticos fueron sustituyendo a otros materiales de mayor costo en diferentes aplicaciones. El desarrollo exponencial de la industria fue impulsado por el deseo de obtener materiales más versátiles y duraderos, lo que llevó a la creación de polímeros plásticos con diversas propiedades químicas y físicas. Este avance estuvo estrechamente vinculado al progreso de la química orgánica y a la síntesis de nuevos materiales, derivados de moléculas base, junto con los procesos industriales que fueron evolucionando a lo largo del tiempo. En la Tabla 6 se puede ver los años en que los diferentes polímeros plásticos iniciaron su producción industrial.

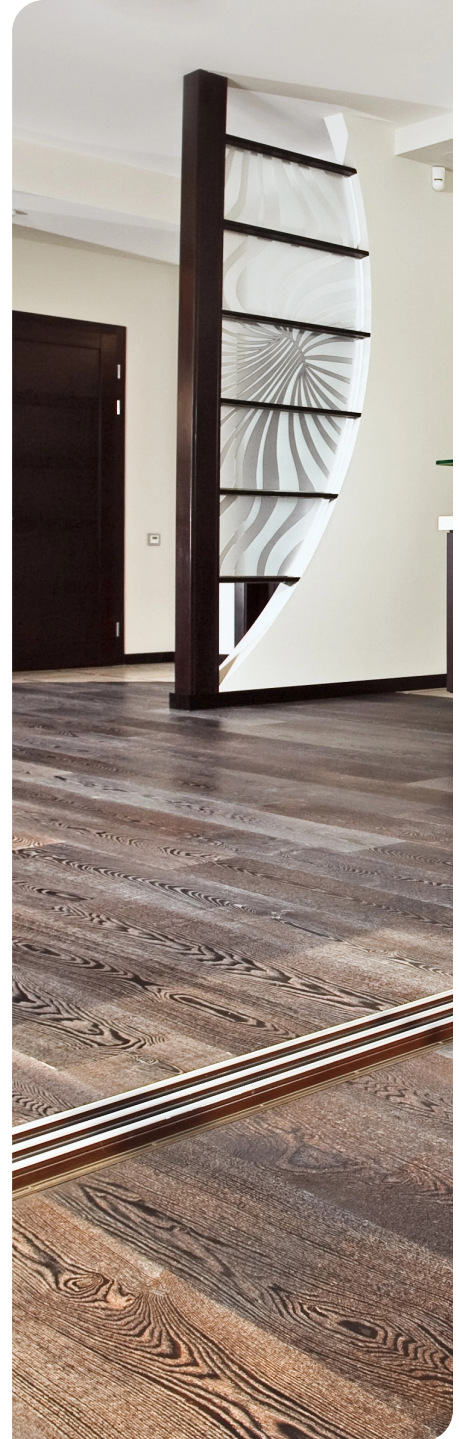


Tabla 6. Desarrollo de tecnología de polímeros en producción industrial.

Polímero plástico	Síntesis industrial desde
Polietileno PE	1935
polietileno de baja densidad LDPE	1939
Polipropileno PP	1957
Poliestireno (PS)	1931
Espuma de poliestireno PSE	1944
Resinas epóxicas	1943
Poliuretanos PU	1952
Nylon 66	1938
Teflón	1941
Polimetacrilato PMMA	1933
Policarbonatos PC	1955
Policloruro de vinilo PVC	1926

Fuente: Elaboración propia, 2024

La investigación académica y de la industria química se centró en el desarrollo de nuevos materiales plásticos, muchos de ellos simplemente se desarrollaban y patentaban sin tener claro su funcionalidad ni un uso específico en una determinada aplicación. La Segunda Guerra Mundial, propició la necesidad de desarrollar nuevos materiales que cumplieran con mejores propiedades, como por ejemplo: mayor resistencia, menor costo y que sustituyeran a otros materiales que escaseaban por el bloqueo de las rutas de abastecimiento. El Nylon, el LDPE y el Teflón surgen como materiales ideales y versátiles y se convirtieron en la punta de lanza de la industria química de los plásticos sustituyendo materiales de origen natural. Posteriormente en 1954 K. Ziegler y Natta, quienes recibirían el premio nobel en 1964, lograron polimerizar el etileno a bajas temperaturas y presiones, empleando sustancias llamadas catalizadores. Dependiendo del tipo de catalizador obtuvieron materiales con diferentes propiedades físicas y químicas. Surgen también en esos años, las resinas de poliuretano, las resinas epóxicas, los poliésteres insaturados, que son resinas plásticas reactivas, que se comercializan en forma líquida, y que reaccionan con un catalizador que promueve la polimerización.

La evolución tecnológica de la industria plástica, no solo se enfocó en nuevos polímeros sino también en la modificación de propiedades químicas, físicas y estructurales de los polímeros ya conocidos, surgiendo materiales nuevos productos como los copolímeros, que son resultado de la combinación de polímeros existentes, los materiales espumados y los denominados expandidos de baja densidad.

II. Materiales sustituidos por plásticos en construcción

Las propiedades de los plásticos les han permitido ingresar al mundo de la construcción para sustituir a otros materiales cuyo uso era más difícil y de mayor costo. Los usos más extensos de estos están en los materiales de las instalaciones eléctricas y los de las instalaciones de agua a presión y desagües. En el caso de los componentes eléctricos hay muchas variables en los materiales plásticos usados.

En el caso de los aislantes de cables eléctricos domiciliarios más comunes los plásticos sustituyeron al caucho, al hule con dos coberturas, una de PVC y otra exterior de nylon. Este constituye el principal cable eléctrico usado en Costa Rica, que por normativa hace obligatorio el uso de cables denominados Cable termoplástico, resistente a altas temperaturas y a la humedad (THHN) que tienen esa estructura. Esto no excluye la posibilidad de usar otro tipo de cubiertas aislantes de menor calidad y contra la norma.

El aislante termoplástico del cable eléctrico puede ser de PVC, polietileno o neopreno. Los aislamientos termo estables pueden ser de polietileno reticulado (XLPE) o polietileno polipropileno con caucho (EPR). Este último tiene especial aplicación en exteriores y una resistencia térmica de hasta 160°C y buena flexibilidad a baja temperatura. El XLPE mostró tener problemas con en la humedad y con el tiempo generaba grietas que llevaban al fallo del cableado. Este tipo de cable fue muy popular en los años sesenta.

Sin embargo, existen cables eléctricos de muchos tipos. Los diferentes aislantes se usan dependiendo del voltaje, el grosor, la ubicación y la corriente a usarse. Hay cables de suma complejidad que tienen multicapas, pero no son los usuales en construcción domiciliar. Esto hace sumamente complicado el reciclaje en ciertos tipos de cable y por eso no ha de sorprendernos que algunas personas deciden recuperar solamente el cobre y no las cubiertas aislantes y entonces recurrir a la práctica de quemar el cable para destruir todos los recubrimientos plásticos que son muy difíciles de remover. En la Figura 6 podemos ver cómo puede llegar a ser de complejo un cable eléctrico de mediana tensión teniendo hasta 8 diferentes materiales en capas sucesivas. Aproximadamente un 50% del peso del cable corresponde al aislante plástico.

El polímero más utilizado como aislante en cables eléctricos es el PVC. La práctica de quemar el recubrimiento del cable para obtener el metal libera al ambiente humos tóxicos, generando un proceso contaminante y no permite recuperar el plástico utilizado en la manufactura del cable.

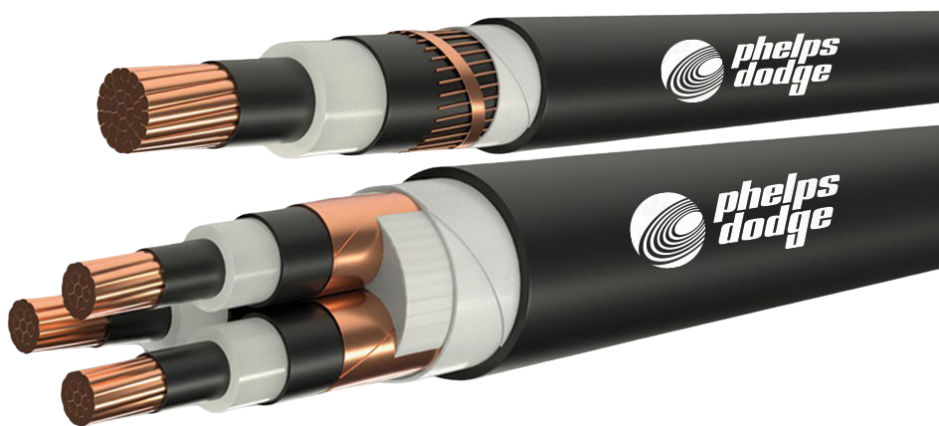


Figura 6. Estructura de un cable media tensión
Fuente: Phelps Dodge Internacional Tailandia, 2024.
Nota: Imagen con fines ilustrativos

Tabla 7. Materiales reemplazados por plásticos en la construcción domiciliar

Uso	Material anterior	Material plástico
Cobertura cable eléctrico	Tejidos de asbestos	PVC y Nylon
Apagadores	Cerámica	Polycarbonato y poliestireno
Toma corrientes	Cerámica y metal	Polycarbonato y poliestireno y Nylon para exteriores.
Tragaluces y láminas translúcidas	Vidrio	Poliésteres con fibra de vidrio y polycarbonato
Tubería de agua	Hierro	PVC
Tubería eléctrica	Hierro y aluminio	PVC
Tubería aguas negras	Hidrocerámica y concreto	PVC
Tubería aguas pluviales	Hierro, zinc y aluminio	PVC
Láminas de cielo raso	Madera, yeso y asbesto	PVC
Marcos y puertas	Madera	PVC

Fuente: Eagle, 2024; Phelps Dodge International Tailandia, 2024.

También se han sustituido materiales como la cerámica en apagadores y conectores eléctricos. El vidrio ha sido sustituido en la fabricación de láminas translúcidas para techos en tragaluces y láminas translúcidas en puertas y ventanas. Poco a poco se fueron sustituyendo las tuberías de agua y grifos de hierro, las tuberías metálicas eléctricas de hierro y aluminio y las tuberías de vitrocerámica y de concreto en aguas sépticas y pluviales, láminas para cielo raso sustituyendo las de yeso, asbesto y madera, y las piezas de madera en marcos de puertas, ventanas y pisos. A lo largo del siglo XX, las tendencias de diseño arquitectónico y en respuesta al desarrollo de centros urbanos con alta densidad de población, los materiales plásticos se convirtieron en una alternativa eficiente y económica en gran variedad de aplicaciones como paredes internas, aislantes de temperatura, películas impermeabilizantes, y en aplicaciones en exteriores como estabilizantes de terrenos para fundaciones de estructuras, como el caso de los geotextiles para estabilización de terrenos.

III. REVISIÓN HISTÓRICA DEL PLÁSTICO EN CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA

I. Uso de tubería de PVC para instalaciones eléctricas

El uso del PVC para tuberías a presión se inicia en Estados Unidos desde la década de 1950, iniciando la certificación de tuberías, por la National Science Foundation, en 1956 (Vinilit by aliaxis, 2024). El uso en Costa Rica es posterior y se da a inicios de la década de 1970. El uso de tuberías de PVC en las instalaciones eléctricas se inicia alrededor de 1972. Debido a las condiciones favorables para el sector industrial que generó la creación del Mercado Común Centroamericano, se estableció la primera empresa que fabricante de tubería de PVC en Costa Rica bajo el nombre de BFGoodrich Química de Costa Rica, S.A. (Resintech, 2024). Ya para 1972 se empezaron a realizar las primeras instalaciones de tubería eléctrica, como alternativa al entubado en hierro o aluminio. (Camacho, 2024).

II. Uso de tubería de PVC para instalaciones hidráulicas y para aguas servidas

Las tuberías de PVC para agua comenzaron a introducirse a mediados de la década de 1960 y principios de la de 1970. En 1959, se fundó la empresa Durman Esquivel, inicialmente dedicada a la importación de materiales de construcción, que posteriormente se diversificó y comenzó a fabricar tuberías de PVC. Para 1975, la empresa ya producía este tipo de tuberías tanto para el mercado local como para el extranjero. Estas tuberías se empezaron a utilizar especialmente en las nuevas construcciones y como alternativa mucho más económica y más fácil de instalación para reemplazar las tuberías de hierro dañadas, así como en los sistemas de riego agrícola. Hay que tomar en cuenta que la instalación y sustitución de tuberías de hierro en construcción, era un proceso complejo que requería tiempo, mano de obra y herramientas especializadas. La facilidad de instalación de la tubería de PVC puso al alcance de cualquier persona el poder realizar la correcta instalación por su propia cuenta, en corto tiempo y a bajo costo, asegurando contar con un material de muy larga vida que no se oxida ni corroe. La introducción de tuberías de PVC para aguas negras, igualmente se dio simultáneamente, en sustitución de las tuberías de cemento y vítreas. Estas últimas presentaban una serie de problemas de fractura por acción mecánica filtraciones, fugas y contaminación de suelos.

El PVC surgió como la gran alternativa funcional y de bajo costo. Empezando con las construcciones nuevas y reemplazando en las construcciones viejas las tuberías dañadas. La demanda de mercado aumentó aceleradamente, y a partir de finales de los 90, la empresa Amanco surgió de la fusión de Plásticos para la Construcción S.A., Accesorios Plásticos Centroamericanos S.A. y la empresa Ricalit, esta última dedicada a la producción de materiales de asbesto cemento, siendo la producción de tuberías plásticas para aguas y drenajes la de mayor crecimiento. Posteriormente en 2007 fue adquirida por el grupo Mexichem de México, que posteriormente también adquiriría en 2012 a la empresa Wavin de Países Bajos, especializada en materiales plásticos para la construcción entre ellos geotextiles y tuberías.

III. Uso de láminas de policarbonato y poliestireno

Las láminas de policarbonato y poliestireno se comenzaron a usar a finales de la década de 1950 y principios de 1960, como sustituto de ventanas de vidrio y en tragaluces y difusores de luz. En el caso del policarbonato la lámina mantiene por sí misma una estructura firme, pero en el caso del poliestireno se reforzaba con una malla de fibra de vidrio. La lámina de poliestireno reforzado con fibra de vidrio entró en desuso por la dificultad de la manipulación de la fibra de vidrio y un costo cada vez menor del policarbonato, que hoy día es el que se utiliza para láminas externas de tragaluces.

IV. Otros plásticos recientemente incorporados en construcción

a. Aislantes térmicos, geomembranas, tanques de agua

En Costa Rica los aislantes térmicos para techos y paredes también han irrumpido en el mercado de la construcción para reducir el gasto energético, sobre todo en zonas calientes y oficinas. Los materiales más empleados son el poliestireno extruido, el poliestireno expandido y el poliuretano. Son materiales de fácil instalación, bajo costo y larga duración. Las geomembranas y geotextiles de PVC y de HDPE también se están empleando para estabilizar suelos, drenajes, y como base para lagos artificiales. En tanques para agua se utiliza el HDPE.

b. Paneles, pisos y paredes prefabricadas reforzadas

Está creciendo el mercado de paneles WPC (Wood Plastic Composites, por sus siglas en inglés), piezas para uso decorativo en pisos y paredes, fabricadas con madera y reforzadas con PVC. En pisos también se está empleando el SPC (Stone Plastic Composite, por sus siglas en inglés), que es un panel de alta resistencia y rigidez compuesto de PVC y reforzado con un 60% de piedra caliza. El Cloruro de Polivinilo Clorado (CPVC) es un polímero de PVC con hasta un 21,7% de contenido de cloro adicional, lo que le brinda una alta resistencia a las temperaturas y a la presión.



4

IMPORTACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA

En la Figura 7, se muestra la importación de materiales plásticos relacionados con la industria de la construcción para el período 2016-2022. El promedio de estos 7 años fue de 127 995 TM, con un máximo alcanzado en el año 2021 con 142 100 TM. Esta estadística incluye revestimientos de plástico para suelos, losetas, revestimientos de plástico para paredes, techos, placas, láminas, hojas, cintas, tiras y demás formas planas, autoadhesivas, de plástico, con y sin refuerzo, bañeras, duchas, fregaderos, lavabos, bidés, inodoros y sus asientos y tapas, cisternas (depósitos de agua) para inodoros y artículos sanitarios o higiénicos similares, de plástico y resinas.

Importaciones de materiales plásticos relacionados con la industria de la construcción en Costa Rica 2016-2022 en miles de toneladas métricas.

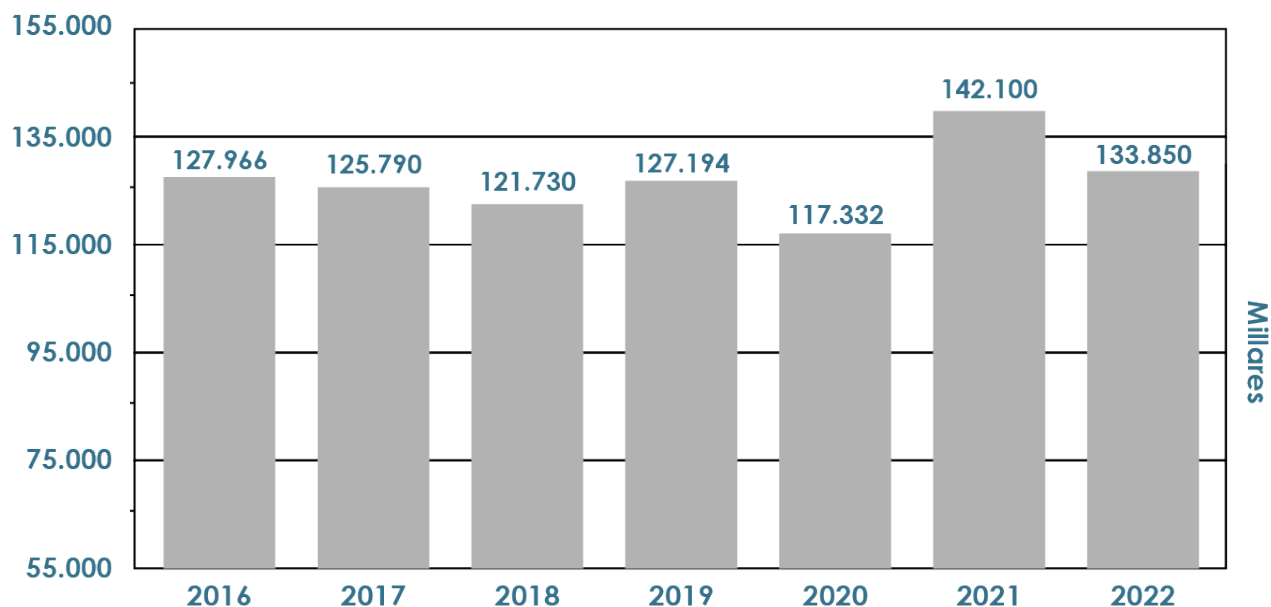


Figura 7. Importación de materiales plásticos relacionados con la industria de la construcción. (2016-2022)
Fuente: INEC, 2023.

En ese mismo período 2016 al 2022, el INEC reporta que se importaron 97 205 TM de cable eléctrico con aislante, un promedio anual de 13 886 TM. La composición promedio reportada del peso de un cable es de un 50% metal y un 50% aislante, que en su mayoría es PVC, por lo que podemos deducir que aproximadamente 6 943 TM en promedio de PVC en cableado eléctrico son instalados en el territorio nacional cada año.

5

PLÁSTICOS EN CONSTRUCCIONES EN COSTA RICA: PRÁCTICAS ACTUALES Y PERSPECTIVAS DE CAMBIO

I. Descripción cualitativa

Costa Rica no es ajena a las tendencias del creciente empleo de materiales plásticos en construcción. Si hay algunas diferencias importantes como otros países, pero en general, se utilizan materiales muy similares. Por ejemplo:

- El aislante plástico en los cables eléctricos representa en promedio un 50% de su peso. El PVC es el polímero que más se emplea como aislante en los cables eléctricos y este recubrimiento.
- Tuberías eléctricas y conectores plásticos han sustituido a las metálicas en la construcción de casas de habitación. No así a nivel industrial donde la norma exige hierro galvanizado.
- Apagadores, tomacorrientes y en general todos los accesorios eléctricos están fabricados con PC, ABS o mezclas de polímeros.
- Se utilizan tuberías de PVC para las aguas potables y servidas en las casas y en los edificios.
- Las instalaciones de agua servidas comunales suelen ser de concreto y hay una tendencia para cambiarlas hacia otro tipo de elementos plásticos como polietileno.
- Cada vez más están utilizando cielorrasos de PVC.
- Igualmente se están utilizando más los pisos laminados de alta presión de PVC.
- Hay una tendencia a ir sustituyendo tuberías de PVC por tubería de PE, pero se prevé que irá aumentando lentamente con el tiempo.
- El uso de aislantes térmicos y acústicos de techos y paredes son cada vez más comunes.
- Se han construido gran cantidad de edificaciones como paredes de vidrio y esto no ha dado un buen resultado por lo que se espera que vaya a haber un cambio en la tecnología de la envolvente utilizada en edificios lo que puede llevar a materiales compuestos.
- Y cada vez más común ver la instalación de tanques de agua potable de almacenamiento para tiempos de escasez o de cortes del servicio.
- Cada vez son más las edificaciones que requieren sistemas de retardo de agua pluvial por lo que los tanques de almacenamiento serán también más comunes.
- Cada vez se están empleando más los elementos decorativos de materiales compuestos de madera, PVC o de piedra.
- La grifería plástica está sustituyendo a la grifería metálica.

6

PERSPECTIVAS DE VIDA ÚTIL DE LOS PRODUCTOS PLÁSTICOS EN CONSTRUCCIÓN

La vida útil de un plástico depende mucho de su uso y del material en sí. Por ejemplo, los plásticos que se utilizan en interiores tienen una vida muchísimo más larga que los que se utilizan en exteriores. Hay varias razones por las que esto es así. Los usados en exteriores sufren, por ejemplo, de variaciones de temperatura de forma diaria y amplia, que varían estacionalmente. Están expuestos a impactos mecánicos, a la luz y a la lluvia. Tienden a decolorarse, agrietarse, a perder elasticidad y dureza. Estos procesos de degradación se deben principalmente a la luz ultravioleta.

La vida útil también dependerá del tipo de producto y su utilización. Por ejemplo, podemos observar cómo los plásticos de empaque tienen una vida sumamente corta y todos los plásticos relacionados con la construcción tienen vidas relativamente largas. Esto se ilustra claramente en la Figura 8.

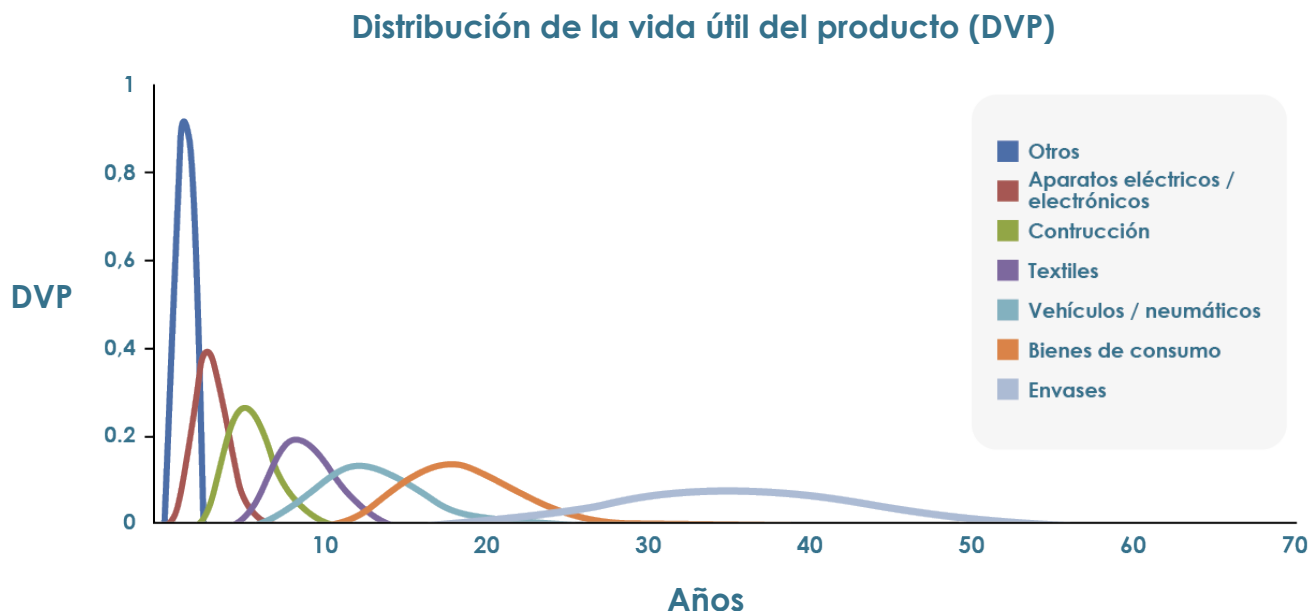


Figura 8. Vida media de plásticos según sus usos.

Fuente: Funciones de distribución de probabilidad de Geyer, Jambeck, & Law, 2017

I. Factores que inciden en la vida útil de un plástico

Muchos son los factores que influyen en la vida útil de un plástico. Algunos de ellos son los siguientes:

- La incidencia de luz ultravioleta y la presencia de aditivos protectores
- La presencia de retardantes de llama
- El tipo de plástico y su uso
- El tipo de construcción
- Obsolescencia de los materiales y acabados en respuesta a tendencias de moda en el diseño de interiores

II. La incidencia de la luz en la vida útil de un plástico.

En la mayoría de los polímeros hay energías de enlace que oscilan en el rango de 290~400kJ/mol (Dsuntech, 2024), y en este rango son susceptibles a la fotólisis². Los rayos ultravioletas son el principal factor que afecta a la foto envejecimiento de los plásticos interactuando en los dobles enlaces insaturados del polímero. Entre los compuestos con dobles enlaces se encuentran los colorantes orgánicos que se utilizan como aditivos en los plásticos. Ante la acción de la luz pueden generar radicales libres generan una fragmentación del polímero de forma puntual o en cadena. La degradación de los colorantes se refleja en la decoloración del material y es mediante estos mismos colorantes que se está acelerando la formación de radicales libres en el plástico. Para disminuir este daño se requiere la adición de compuestos protectores que captan la luz y la transforman en calor sin la formación de radical libres: Los fotoprotectores actúan absorbiendo, reflejando o dispersando la radiación UV, protegiendo así los plásticos en aplicaciones exteriores, como en envases, cubiertas y componentes automotrices. Otro elemento necesario para estabilizar el plástico es la edición de compuestos inhibidores de formación de radicales libres o que rompen las cadenas de su propagación, llamados antioxidantes. La presencia de estos dos tipos de aditivos alarga la vida de cualquier material plástico.

En contraposición, los plásticos fluorados como el teflón (TE), el Etilen tetrafluoro etileno (EFTE) y el fluoruro de poli vinilideno (PVDF) poseen alta resistencia a la radiación UV debido a la alta energía de enlace entre el carbono y el flúor, que los hace menos susceptibles. Esto nos lleva a considerar que los compuestos poliméricos con diferentes estructuras tienen una sensibilidad diferente a varias bandas de rayos ultravioleta de longitud de onda larga y corta (Dsuntech, 2024).

Los aditivos UV más comúnmente empleados son la benzofenona, salicilatos, benzotriazoles, acrilonitrilos sustituidos y triazinas. También el negro de carbón es comúnmente empleado para protección UV. En general estos aditivos absorben la radiación UV y la transforman en energía calórica que no afecta al polímero.

² Fotólisis: La fotólisis es un proceso químico en el que una molécula se descompone debido a la acción de la luz, generalmente luz ultravioleta (UV). En este proceso, la energía de los fotones de la luz provoca la ruptura de enlaces químicos en la molécula, lo que da como resultado la formación de productos más simples.

III. La presencia de retardantes de llama en la vida de un plástico.

En el caso de materiales destinados a uso interior, se les adicionan sustancias denominadas retardantes de llama. Debido a que los polímeros plásticos son en su mayoría derivados de hidrocarburos pueden ser altamente inflamables. Si bien estos aditivos no alargan la vida útil del polímero, si se deben tomar en cuenta ya que estos materiales al final de su vida útil se convertirán en residuos que deberán gestionarse adecuadamente, ya sea para recuperación, reutilización, reciclaje o disposición final.

Las temperaturas de ignición varían según el polímero, pero tienen en común que se queman más rápidamente que otros materiales como la madera, por ello están catalogados como materiales inflamables grado 1. La inflamabilidad relativa de varios polímeros plásticos se muestra en la Tabla 8. Vemos como, similarmente a la degradación por luz, los compuestos fluorados son menos susceptibles a la combustión.

Tabla 8. Clasificación de materiales plásticos según su combustibilidad

Grado de combustión	
Prácticamente Incombustibles	Teflón (TE), Etilen tetrafluoro etileno (EFTE), Fluoruro de polivinilideno (PVDF)
Difícilmente Combustibles	Siliconas, Resinas Fenólicas, Aminoplásticos
Medianamente Combustibles	Policarbonatos, Cloruro de Polivinilo Rígido, etc.
Fácilmente Combustibles	Polietileno, Polipropileno, Plásticos de Celulosa, Resinas Epoxídicas, etc.
De muy Fácil Combustión (eventualmente explotan)	Nitrocelulosa

Fuente: Bomberos Voluntarios, 2024.

Se agregan aditivos químicos denominados retardantes para reducir la velocidad de propagación de la llama, generar menos humo y menos calor. Esto brinda un tiempo mayor de reacción en caso de un incendio. Dependiendo del tipo de plástico así se escogen los retardantes adecuados. Dentro de la familia de los retardantes de llama se encuentran los compuestos a base de hidratos metálicos, los fosforados, los halogenados con cloro y bromo y compuestos orgánicos como el cianurato de melamina.

El hidróxido de magnesio es de la familia de los óxidos metálicos. Funciona generando agua que enfría el polímero y el óxido metálico formado en la combustión crea una capa aislante, bloqueando la liberación de los gases inflamables. Es de baja toxicidad y genera mucho menor cantidad de humo. Su limitante es que se requiere una alta carga lo que afecta las propiedades físicas del polímero.

Los aditivos halogenados se utilizan generalmente como retardantes de llama en poliésteres, poliamidas y policarbonatos. Los halogenados son muy eficientes y de bajo costo, pero no pueden ser empleados en plásticos de colores claros porque impregnan un color rojizo café. También son altamente tóxicos por lo que se ha ido limitando y prohibiendo su uso. Los bifenilos policlorados, se prohibieron a nivel mundial en el año 2001 debido a su toxicidad, e igual suerte corrieron muchos los retardantes a base de bromo.

Los retardantes a base de fósforo rojo combustionan generando una barrera de carbón en la superficie del plástico que funciona como aislante del calor y reduce el suministro de gas combustible. No se utilizan en sistemas eléctricos debido a que reaccionan en condiciones de alta humedad y facilitan la oxidación de metales como el cobre. Se emplean en poliolefinas, poliésteres, poli fenilos, poliaminas y policarbonatos.

Los retardantes orgánicos funcionan como disipadores de calor, absorbiendo la energía calórica. Afectan las propiedades físicas del plástico y tienden a decolorarse.

Hay una tendencia creciente en el mercado para avanzar hacia sistemas libres de halógenos, debido a su menor toxicidad y menor generación de humo.

Los materiales plásticos para decoración de interiores y acabados presentan una vida útil más corta comparada con las otras aplicaciones como tuberías de agua y de instalación eléctrica.

IV. ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE ACABADOS

Tabla 9. Estimación de vida útil por tipo de material*

Aplicación	Tipo de Polímero	Vida útil años
Tablillas de cielo raso	PVC	15 – 20
Piso laminado	PVC, WPC	10 – 15
Piso laminado con material mineral	SPC	15 – 20
Marcos de ventanas y puertas	PVC	50
Láminas difusoras de luz	PC / PMMA / PS	15 – 20
Grifería de baño, lavabos y fregaderos	ABS / PMMA/POM	10 – 20
Válvula y sistema flotación inodoros	ABC / PVC	10 – 20
Canoas y canaletas de agua pluvial	PVC	15 – 20

Fuente: Elaboración propia; 2024.

*Valores de referencia según fabricante. Bajo el supuesto de una correcta instalación, mantenimiento, sin golpes o expuestas a condiciones diferentes a las especificaciones. Durabilidad y uso de los materiales también dependen de las tendencias de diseños de construcción o “modas”.

Los materiales plásticos se emplean en las instalaciones eléctricas, tanto en el cableado como en el entubado, canaletas, conectores de tubos y adaptadores para cajas, apagadores, toma corrientes, sockets y plafones, cajas cuadradas y hexagonales, tapas para cajas y fusibles de pastillas en centros de carga.

La vida útil de una instalación eléctrica depende del diseño inicial, de la instalación y del mantenimiento que se le brinde, pero como mínimo debería durar de 25 a 50 años. Es importante considerar que, a lo largo de su vida útil, una construcción experimentará cambios, como la adición de nuevas áreas o remodelaciones, lo que alterará la cantidad de artefactos eléctricos y, por ende, la demanda de carga. Una sobrecarga en la instalación provoca el calentamiento del cableado, reduciendo su vida útil. El polímero plástico que recubre el cable metálico se somete a ciclos de calentamiento y enfriamiento, lo que puede causar fallas prematuras e incluso provocar un incendio.

“En caso de que el sistema eléctrico no se haya sometido a cambios, se puede definir una periodicidad de revisiones de rutina... residencial, la instalación eléctrica debería diagnosticarse al menos cada 5 años, una comercial, cada 3 o 5 años, y una industrial cada 1 año” (Proeléctrica, 2024)

También existen condiciones propias de la construcción que acortan la vida útil de una instalación eléctrica. En zonas de alta radiación los techos metálicos de zinc y galvanizados pueden alcanzar temperaturas de hasta 80°C, temperatura a la que están sometidas las instalaciones eléctricas. La alta humedad y salinidad si bien no afectan a los polímeros plásticos, si a los componentes metálicos en los interruptores, toma corrientes y sockets, oxidándolos y requiriendo ser reemplazados. Las tuberías eléctricas plásticas internas en paredes y pisos están sometidas a temperaturas más bajas, y se encuentran protegidas de la radiación solar, por tanto, su vida útil se extenderá tanto como la pared o piso que la contenga.

Tabla 10. Estimación de vida útil de elementos de sistemas eléctricos

Aplicación	Tipo de Polímero	Vida útil años
Cable eléctrico	PVC, PE	10 – 30
Interruptores, toma corrientes, sockets	PVC, PP, PC, ABS	10 – 30
Tubería, cajas y conectores	PVC, PE, ABS	10 – 30

Fuente: Elaboración propia a partir de la información técnica de los fabricantes

La grifería plástica, para lavabos y baño, ha ido sustituyendo a la grifería metálica, con un menor costo y facilidad de instalación, y mayor durabilidad en zonas de clima húmedo y caliente. Las tuberías de agua potable de PVC reemplazaron las metálicas, y las de tuberías de aguas negras a las tuberías de vitrocerámica.

Tabla 11. Estimación de vida útil de elementos de sistemas mecánicos

Aplicación	Tipo de Polímero	Vida útil años
Grifería lavabos y baño	POM, ABS, PP, PEX	5 – 20
Manguera de abasto, inodoros lavabos y fregadero	EPDM	7 – 10
Sifón, tubería agua residual lavabos y fregaderos	PVC, PE, PP	10 – 20
Tubería agua potable, fría y caliente, conectores	PVC, CPVC, PE	25 – 50
Tubería aguas residuales	PVC, CPVC	25 – 50
Tanques de agua potable y aguas residuales	HDPE	25 – 50
Llaves de paso, válvulas de bola	PVC	10
Empaques para llaves de paso	Neopreno	2 – 5
Boya inodoro	ABS	10 – 15
Sistema válvula inodoro	HDPE, PP, ABS	5 – 10

Fuente: Elaboración propia a partir de la información técnica de los fabricantes.

Nota: la vida útil de muchos productos que incorporan piezas plásticas con metálicas, depende también de la falla de las piezas no plásticas, como oxidación de metales teniendo que reemplazar la pieza completa.

V. EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN Y SU VIDA ÚTIL

La vida útil de una edificación depende de múltiples factores, de la construcción misma, de la instalación y obra complementaria, y de las vidas útiles de los materiales empleados. Cada tipología de construcción tiene asociado un código alfanumérico asignado por el CFIA, en donde, las letras representan, en la medida de lo posible, la edificación de la que se trata.

El Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva, elaborado por el Órgano de Normalización Técnica (ONT), tiene como objetivo ser parte del Modelo de Valoración de Bienes Inmuebles establecido por dicho organismo. Su propósito es proporcionar a las municipalidades una herramienta para determinar el valor de los bienes inmuebles, de acuerdo con lo dispuesto en la Ley de Impuesto sobre Bienes Inmuebles (Ley N° 7509) y sus reformas. Además, sirve como un instrumento para las valoraciones realizadas por la Dirección General de Tributación, en el marco de la aplicación de la Ley de Impuesto Solidario para el Fortalecimiento de Programas de Vivienda (Ley N° 8683).

Tabla 12. Tipologías de viviendas, sus vidas útiles estimadas y su valor por metro cuadrado

Tipología	Tipo de construcción	Vida útil con base en Tipología	Valor por m ² (2021)
VC01	Vivienda de Concreto	50	¢240.000
VC02		55	¢295.000
VC03		65	¢335.000
VC04		70	¢390.000
VC05		90	¢445.000
VC06		105	¢500.000
VC07 a VC10		120	¢640.000
VM01	Vivienda de Madera	80	¢265.000
VM02		100	¢390.000
VM03		105	¢580.000
VM04		120	¢900.000
AP01	Apartamentos	65	¢365.000
AP02		80	¢430.000
AP03		95	¢560.000
AP04		105	¢650.000
AP05		115	¢820.000
AP06		120	¢1.000.000
LC01	Local Comercial	45	¢200.000
LC02		75	¢265.000
LC03		90	¢275.000
LC04		95	¢315.000
LC05		105	¢375.000
LC06		120	¢435.000
EC01	Edificios Comerciales	80	¢275.000
EC02		100	¢390.000
EC03		120	¢530.000
VO01	Edificios de Oficinas	80	¢370.000
VO02		100	¢445.000
VO03		105	¢550.000

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Nota: Valor fijado según el tipo de cambio promedio de ¢650 colones por dólar (Ministerio de Hacienda, 2011)

VI. LA GENERACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN CONSTRUCCIÓN

A lo largo de la vida útil de una edificación se pueden identificar tres momentos en que se generan residuos en general y plásticos en específico.

I. El primer momento se da en la construcción nueva. Durante el proceso de construcción se generan residuos de materiales, sobrantes de instalaciones eléctricas, tuberías, etc.

La construcción nueva está más cuantificada y controlada, pasando por un proceso de revisión tanto en el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos como en las municipalidades correspondientes. Estos datos representan las fuentes más confiables disponibles en el país. Sin embargo, persiste una considerable cantidad de construcción clandestina, que se estima entre el 20% y el 30% del total de los metros construidos. Esta situación probablemente no experimentará cambios significativos en el corto plazo.

II. El segundo momento se da en la remodelación.

La remodelación de una construcción se puede dar por motivos de mantenimiento, donde hay que reemplazar una pieza por daño o deterioro, o en forma preventiva previendo el final de vida útil funcional, sobre todo en componentes del sistema eléctrico o distribución de aguas. Pero también puede responder a modificaciones que se le realizan a la construcción, en respuesta a una necesidad de reorganizar el espacio, realizar ampliaciones o simplemente por rediseño y redecorado, así como en respuesta a tendencias de moda en diseño de interiores.

III. El tercer momento es al final de la vida útil de toda la edificación: la demolición.

La vida útil de ciertas aplicaciones de materiales plásticos, como lo pueden ser tuberías de agua internas en paredes y suelos, puede extenderse hasta el final de la vida útil de la edificación, superando los 50 años o más. Otros materiales tendrán que ser reemplazados por deterioro y por uso varias veces a lo largo de la vida útil de la edificación. Una lámina transparente para tragaluz, deberá ser reemplazada cada 10 años, o un piso de PVC cada 20 años. En todos los casos, la dinámica de la construcción genera una gran cantidad de residuos plásticos por obras nuevas y por mantenimiento, y va a ir en aumento conforme lleguen al final de su vida útil las edificaciones que se construyeron hace más de 30 y 50 años.

VII. ESTIMACIÓN DE DESPERDICIO-RESIDUOS Y SUS CAUSAS

La consulta con profesionales en construcción, como la Arq. Ana María Valenzuela de Lamitech (2024), reveló que existe una manera simple de calcular los desechos potenciales durante el proceso constructivo. Estos desechos se originan por las diferencias en las dimensiones necesarias, lo que genera recortes, así como por piezas defectuosas o dañadas durante la manipulación, lo que puede resultar en fallos funcionales o estéticos. Se estima que el desperdicio potencial oscila entre el 5% y el 10%.

Adicionalmente, en un estudio del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) (Abarca-Guerrero, 2017) encontró que las siguientes son las principales razones por las que se dan residuos de construcción, y que son consistentes con lo dicho por la arquitecta Valenzuela son:

1. *Las causas principales en la generación de residuos de la construcción surgen principalmente por las prácticas durante el diseño y la gestión del proceso. En la fase de diseño, los cambios que se realizan mientras que la construcción está en curso, ya sea solicitada por los clientes o por las decisiones tomadas por los diseñadores, parecen ser el factor que causa más residuos.*
2. *La mala gestión de los materiales de construcción es la otra causa más importante de la generación de residuos tanto en el sitio de la construcción como fuera de ella, incluyendo a los suplidores de materiales, capataces, peones, entre otros.*
3. *Existen muchos factores que influyen en la generación de residuos. Un plan de minimización de residuos debe considerar los diferentes niveles de significancia o importancia.*



7

NORMATIVAS TÉCNICAS Y JURÍDICAS PARA LA REGULACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN CONSTRUCCIÓN

Con el propósito de identificar normativas técnicas y jurídicas a nivel internacional y nacional para regular la gestión de residuos plásticos generados en construcción se procedió a realizar una búsqueda de la legislación nacional y de la internacional que pudiera dar una luz a los posibles caminos de regulación y control que podrían mejorarse o implementarse en Costa Rica. A continuación, los resultados.

I. NORMATIVA NACIONAL

Para la fecha de elaboración del estudio, en Costa Rica, no existe una normativa o reglamento específico que regule la gestión de residuos plásticos en la construcción. De hecho, la legislación es bastante permisiva en relación con los residuos plásticos en general, con algunas excepciones, como es el caso de los plásticos de un solo uso. No obstante, es fundamental revisar la normativa vigente, especialmente la Ley para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (Ley N° 8839), que establece las bases para la regulación de la gestión de residuos sólidos en el país.

I. Ley para la Gestión Integral de Residuos Sólidos No. 8839 de julio 2010, y sus reglamentos.

La ley tiene por objetivo “regular la gestión integral de residuos sólidos y el uso eficiente de los recursos, mediante la planificación y ejecución de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, ambientales y saludables de monitoreo y evaluación” (Procuraduría General de la República, 2010). Esta ley condiciona la gestión integral de residuos sólidos a la aplicación del principio de jerarquización, donde se le debe dar prioridad a la reducción de residuos en el origen, la reutilización, la valorización, el tratamiento y disposición final, procurando que esta disposición sea la mínima y cumpla con el menor impacto al ambiente.

En el artículo 5 de esta ley se indica que los principios generales que fundamentan la gestión integral de residuos sólidos son: la responsabilidad compartida, la responsabilidad extendida del productor, la internalización de costos, la prevención en la fuente, el principio precautorio, el acceso a la información, el deber de informar y la participación ciudadana.

Cabe resaltar los dos principios referentes a información: acceso a la información y el deber de informar. La aplicación de estos dos principios a la generación y gestión de residuos de construcción es de suma importancia. Uno de los principales problemas para determinar la generación de residuos plásticos en el sector de construcción, es precisamente la falta de información y la dificultad de acceso a la misma.

II. Reglamento de Construcciones y sus actualizaciones (INVU, 2022).

Este reglamento establece las normas para la planificación, diseño y construcción de obras de infraestructura urbana y remite a las normas de calidad que deben aplicarse a los materiales y procesos constructivos.

III. Reglamento General a la Ley para la Gestión Integral de Residuos (Decreto No. 37567-SMINAET-H)

Este reglamento tiene como objetivo regular la gestión de los residuos a nivel nacional, reglamentando la ley No. 8839 “Ley para la Gestión Integral de Residuos”, para asegurar el trabajo articulado en la gestión integral de residuos para prevenir riesgos sanitarios, proteger y promover la calidad ambiental, la salud y el bienestar de la población. No regula lo concerniente a aguas residuales o a contaminación ambiental por otros residuos no clasificables como sólidos pues éstos se rigen por otros reglamentos.

IV. Reglamento para la declaratoria de residuos de manejo especial (Decreto No. 38272-S, marzo 2014).

Este reglamento establece los diferentes niveles de responsabilidad de los productores, importadores, distribuidores, comercializadores, generadores de residuos y de los gestores autorizados y de los gobiernos municipales. Define las unidades de cumplimiento y los Planes Municipales de Gestión Integral de Residuos, y declara cuales residuos son considerados de manejo especial. En residuos plásticos solo se incluyen los envases plásticos que contienen agroquímicos y lubricantes, y el estereofón (poliestireno expandido). Este último, se emplea en construcción como aislante térmico, acústico y para aligerar el peso de cierto tipo de estructuras.

V. Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) (Procuraduría General de la República, 2004)

Este reglamento establece los requisitos necesarios para cumplir con el Estudio de Impacto Ambiental (EIA), por actividad. En el caso de la construcción (categoría F), división 45 (Construcción), indica por zona geográfica y tipo de construcción, de acuerdo con el área en metros cuadrados.

VI. Guía Ambiental de la Construcción (Res. No. 479-2014).

Esta es una guía técnica para la reducción de los impactos ambientales en el proceso de construcción de una obra, partiendo del principio de prevención de los posibles impactos al entorno y al ambiente de todas las actividades a lo largo del proceso de construcción (Ministerio del Ambiente y Energía, 2014).

VII. Directriz N° 050 Minae - Directriz para la construcción sostenible en el Sector Público. Febrero 2017.

Esta directriz tiene como objetivo el promover la aplicación de prácticas sostenibles en toda la administración pública para la construcción de obras nuevas, así como ampliaciones, mejoras, remodelaciones y demoliciones, y procurando una adecuada gestión de los residuos generados (Procuraduría General de la República, 2019).

VIII. Plan de Residuos Sólidos Costa Rica (PRESOL)

El Plan de Residuos Sólidos de Costa Rica (PRESOL) forma parte del Plan de Acción Estratégica del Programa de Competitividad y Medio Ambiente (CYMA) 2018 (Programa CYMA, Ministerio de Salud, s.f.). En la acción estratégica número 11, se aborda específicamente la gestión de residuos de construcción y escombros. Esta estrategia propone promover la reducción de estos residuos, su gestión adecuada, el reciclaje y la disposición final en sitios autorizados.

IX. Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción. (UICN, 2011).

La Guía de Manejo de Escombros y Otros Residuos de la Construcción es una herramienta destinada a la evaluación y gestión ambiental de actividades de construcción y demolición con bajo o moderado impacto ambiental. La guía destaca que el destino final de la mayoría de los escombros es el relleno sanitario, donde se utilizan principalmente para cubrir otros tipos de desechos.

X. Proyecto de Reglamento para el manejo de residuos de la demolición de obras y de la construcción.

Si bien, al momento de la elaboración de este estudio, el reglamento no ha sido aprobado, el objetivo de este reglamento es establecer los requisitos que deben cumplir tanto los generadores de residuos de la construcción como los gestores de estos residuos para obtener el Permiso de Construcción por parte de la Municipalidad. Aunque se encuentra en proceso de elaboración al momento de este estudio, sería sumamente valioso e importante incluir la obligación de cuantificar los residuos por tipo, tanto para los generadores como para los gestores, con el fin de asegurar una correcta trazabilidad, desde su origen hasta la disposición final.

II. NORMATIVA INTERNACIONAL

Los problemas de desechos de demolición y construcción son ubicuos. De tal manera que muchos países han implementado diferentes tipos de legislación para tratar de controlar estos desechos y promover su minimización, recuperación o reutilización, basados en el principio de las tres erres: reducir, reusar y reciclar. Sin embargo, no hay legislación que clara que determine el uso que se le deben de dar a los residuos plásticos en desechos de construcción. Esto podría deberse sencillamente a que la cantidad de plástico que se encuentra de estos residuos es relativamente pequeña y ha sido cuantificada de forma poco sistemática por diferentes autores en rangos de oscilan entre el 1% y el 3% en peso del residuo total. Ante esta situación es evidente que los residuos de mayor proporción y peso son mucho más importantes y concentran los mayores esfuerzos, como el concreto, tierra, piedras, minerales y el acero.

I. Estados Unidos

El Estado de California, EE. UU., a través de la promulgación de la California Integrated Waste Management Act (AB 939) y el CALGreen de 2002, actualizado entre 2019 y 2022, establece que la construcción, remodelación y demolición de edificaciones residenciales

y no residenciales deben reciclar y/o recuperar para su reutilización al menos el 65% de los escombros de residuos de construcción y demolición (RCD) no peligrosos generados durante el proyecto. Esta normativa se encuentra en las secciones 4.408, 5.408, 301.1.1 y 301.3 del CALGreen (CalRecycle, s.f.).

En el documento Guía Informativa de Desvío de Construcción y Demolición se definen como RCD no peligrosos materiales descartados como concreto, acero, ladrillos, asfalto, tierra, vidrio, papel, madera y los materiales plásticos, los cuales se generan en el proceso de preparación, construcción, reparación y demolición. Igualmente define como proceso de reciclado la recolección, clasificación, tratamiento y reconstitución de los materiales, reintegrándolos en el flujo económico en la forma de materias primas nuevas, de reutilizables o reconstituidas, que deben cumplir con los estándares de calidad mínimos (CalRecycle). En el Código Oficial de Regulaciones de California de Barclays se definen los RCD inertes como aquellos residuos generados en las actividades de construcción y demolición que no son materiales peligrosos y que no contienen más del 1% de materia orgánica putrescible. Cabe destacar el inciso “u”, que define como contaminantes físicos a los materiales sintéticos presentes en los residuos, entre los que se incluyen el vidrio, el metal y el plástico (State of California, 2021).

II. España

Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. Este decreto tiene como objeto establecer el régimen jurídico de la producción y gestión de los RCD, fomentando la prevención, reutilización, reciclado y valorización. En su articulado, obliga al poseedor/generador de los RCD disponer por sí mismo o a través de un gestor autorizado. En la entrega, el poseedor deberá hacer constar mediante un documento la cantidad y tipo de residuos expresada en TM o m³. Establece la obligación de separar los RCD en fracciones, en particular los residuos plásticos deberán ser fraccionados cuando la cantidad generada supere las 0,5 TM. También prohíbe el depósito en vertedero de los RCD cuando estos no hayan sido sometidos a alguna operación de tratamiento previo (Gobierno de España, 2008).

III. Brasil

Resolución 307 del Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), 5 julio 2002. Esta normativa establece la obligación a los generadores de RCD de no generación y de reducción, reutilización, reciclaje y correcta eliminación. Los RCD los clasifica en 4 clases. Los residuos plásticos caen dentro de la clasificación B, que indica que deberán ser reutilizados, reciclados o acopiados para su posterior utilización. Sin embargo, es de consideración que los residuos plásticos de construcción y demolición son difíciles de reciclar debido a su nivel de deterioro y contaminación (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2002).

IV. Australia

Australia está experimentando un auge en la construcción, lo que ha dado lugar a una enorme generación de residuos. Las políticas de países como China, Malasia, Tailandia, Filipinas y otros, que prohíben la importación de productos de desecho, han llevado a

que Australia se enfrente actualmente a una gran cantidad de material recuperado de los residuos de construcción. (Shooshtarian, Maqsood, Wong, Khalfan, & Yang, 2021). Esto debido a los altísimos costos de depositar materiales en rellenos, que van de los 85 a los 199 dólares la tonelada, dependiendo de si está en la ciudad o alejado de ella y el departamento en el que se encuentra. Este costo de depósito genera más de 1000 millones de dólares al año. Debido a esto, y aunado a los requisitos reglamentarios de cada región, que son constantemente actualizados, han llevado a que se recupere el 67% (Shooshtarian, Maqsood, Khalfan, Wong, & Yang, 2019) de los desechos de construcción. Se cuenta con una política nacional de manejo de desechos y un plan de acción nacional para el manejo de desechos. Sin embargo, hay diferencias importantes en las regiones. Particularmente los objetivos de recuperación, la definición y clasificación de los desechos y las multas por el desecho inapropiado (Shooshtarian, Maqsood, Khalfan, Wong, & Yang, 2019).

V. China e India

Estos dos países experimentan un proceso constructivo acelerado y exponencial. Consecuentemente se generan igualmente una gran cantidad de residuos de construcción y de demolición. Solamente China ha generado, en el 2017, más de 30 mil millones de toneladas de residuos de construcción. India es considerablemente menor productor residuos con solamente 170 millones de toneladas anuales. Ninguno de estos países genera una recuperación importante de sus residuos estimada en menos del 5% de lo generado. Uno de los factores importantes a tener en consideración es el bajo costo que tiene el disponer de un residuo en un botadero, que está por debajo de 1 \$/TM. En India, el principal factor es el vertido ilegal (Pidugu, y otros, 2022).



8

EXPERIENCIAS EN LA CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

La Agencia de Protección del Ambiente de Estados Unidos (EPA), define los residuos de construcción y demolición (RCD) como los materiales generados durante la construcción, renovación y demolición de edificios, carreteras y puentes, y se componen de materiales como acero, hierro, madera, gypsum, vidrio, plásticos, concreto, ladrillos, asfalto, paneles de yeso y otros materiales como tuberías de agua, árboles, tierra y rocas. Los RCD son residuos que no están incluidos dentro de los residuos sólidos municipales. La EPA estima que la generación de residuos de CD en EU alcanzó en el 2018 los 600 millones de TM. La EPA indica que el 90% de los residuos generados se debe a demoliciones, mientras que el 10% corresponde a construcciones nuevas. El total de RCD son enviados a “nuevo uso” o a rellenos sanitarios. Como “nuevo uso” se entiende su uso en el mercado como materia prima en otros procesos, como relleno o cogeneración (United States Environmental Protection Agency, s.f.). Del total de RCD un 24% son enviados a relleno sanitario, un 1,5% a cogeneración, un 54% como se utiliza como material de relleno o agregado y un 19,8% se reutiliza en procesos de manufactura. No se encontraron datos específicos desagregados sobre residuos plásticos en RCD reportados por la EPA.

La investigación realizada muestra a los países europeos a la vanguardia en el abordaje del tema de la gestión de residuos generados por la industria de la construcción y demolición. En esa línea la Oficina de Estadística de la Unión Europea (Eurostat), ha realizado varios levantamientos estadísticos en cuanto a generación de RCD en la Unión Europea, contabilizando 850 millones de TM (Villoria Sáez & Osmani, 2019), superados por China con 1,13 billones de TM, y seguido por Estados Unidos. Este estudio muestra a Alemania, Austria, Países Bajos, Bélgica y Francia como los países con mayor generación de RCD en Europa. El sector de construcción en la Unión Europea es el más alto generador de residuos, siendo responsable de un 35% del total de residuos generados.

Sin embargo, como se muestra en la Figura 9, tampoco desagregan los datos de generación de residuos plásticos, y los incluyen en la categoría de otros residuos, junto con el vidrio, papel, residuos vegetales y residuos químicos, muy probablemente por ser un porcentaje muy bajo respecto a la generación total de RCD.

Coronado, Dosal, Coz, & Viguri, (2011) reportan, en un estudio realizado en 2011, sobre datos desagregados de RCD en diferentes países de la Unión Europea los datos de residuos plásticos de España en el año 2005 e indican que correspondió a un 2% del total de RCD. En este estudio los autores hacen referencia a los diferentes tipos de metodologías reportadas en la literatura para determinar generación de RCD. Entre las

más empleadas están la producción de RCD por persona, similar al cálculo de residuos municipales y el de la generación de RCD por unidad de área construida, demolida o renovada.

Ram y Kalidindi (2017) también realizaron una revisión de literatura sobre generación de RCD reportados en varios países alrededor del mundo. Los valores que se reportan en las diferentes fuentes que consultaron se muestran en Kg/cápita/año y en Kg/m² tanto en construcción como en demolición. No reportan ni hacen referencia a información desagregada por residuos plásticos en RCD. Ver Tabla 13. Kofoworola y Gheewala (2009) reportan un promedio de un 2% de residuos de materiales aislantes y de poliestireno expandido en el total de RCD en Tailandia para los años 2002-2005.

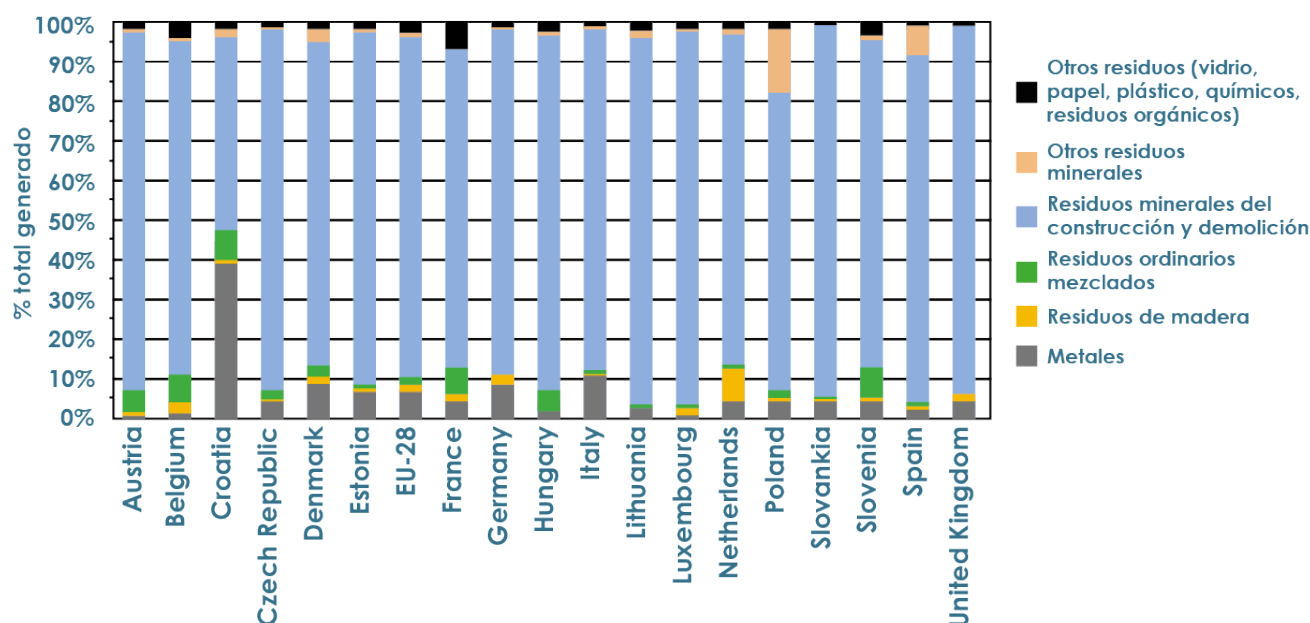


Figura 9 Porcentaje de residuos generados por país de la Unión Europea en 2024
Fuente Eurostat, en Villoria Sáez & Osmani, 2019

En España, se han elaborado los ratios nacionales de generación de RCD (Residuos de Construcción y Demolición). Estas ratios se desarrollaron a partir de un exhaustivo levantamiento de información sobre las diferentes características tipológicas de las edificaciones (Granados Meléndez, Fernández Castillo, & López-Asiain Martínez, 2020), considerando la generación de RCD de las distintas familias y subfamilias, así como los Códigos LER³ en porcentaje (%), densidad de los residuos en TM/m³ incluyendo densidad aparente y densidad reportada en la literatura, y el factor de esponjamiento F.C.E.⁴. Los datos obtenidos corresponden a ratios de RCD en TM/m² de construcción/demolición y la densidad aparente⁵. La tabla 1 muestra los ratios nacionales en España para residuos plásticos en construcción y demolición.

³ Los Códigos LER: LER – Listado Europeo de Residuos, corresponde a la clasificación europea para los residuos, la cual tiene 6 dígitos y clasifica los residuos por títulos y capítulos. Corresponde a la Decisión 2014/955/UE

⁴ El F.C.E. factor de esponjamiento, corresponde al volumen final que se obtiene al descomprimir un material que estaba previamente compactado, como el suelo o el concreto. Al momento de descomprimirlo el volumen final es mayor al volumen inicial.

⁵ La densidad aparente varía según el método empleado en la generación de RCD, por ejemplo, si es manual o si se emplea maquinaria y el tipo de maquinaria, o el tipo de material.

Tabla 13. Tabla de generación de residuos plásticos en construcción en España

Residuo Plástico Cod LER	Descripción	Porcentaje Residuo %	Densidades TM/m ³		F.C.E.
			Densidad aparente	Densidad aparente	
17 02 03	Residuos plásticos	1,85	0,6	0,9	1,50

Fuente: Elaboración propia. Con datos de CGATE y CSCAE, 2020

Tabla 14. Revisión bibliográfica de estudios sobre generación de RCD

Region / Country	Author	Activity			Scope		Waste generation				Year of data
		C	R	D	PL	RL	Million ty	kg capita- year	kg m ² (C)	kg m ² (D)	
Brazil	Paz and Lafayette (2016)	✓			✓		—	—	97	—	2013
China	Lu et al. (2016)	✓	✓	✓		✓	1130	—	—	—	2014
Florida, USA	Cochran et al. (2007)	✓	✓	✓		✓	3.75	471	43.70	910	2003
Galicia, Spain	Lage et al. (2010)	✓		✓	✓	✓	2.2	800	80	1350	2011
Greece	Fatta et al. (2003)	✓		✓		✓	2.09	191	—	—	2000
Hong Kong	Poon et al. (2004)	✓			✓		—	—	0.14 to 0.20	—	2004
Kuwait	Kartam et al. (2004)	✓		✓		✓	1.6	800	45	1450	2002
Lisbon, Portugal	De Melo et al. (2011)	✓	✓				1.13	400	158	—	2007
	Bernardo et al. (2016)			✓	✓	✓	0.564	—	—	1050 to 3591	2012
Malaysia	Mah et al. (2016)	✓		✓	✓		—	—	32.9 to 98.8	1042.8	2016
Norway	Bergsdal et al. (2007)	✓	✓	✓		✓	1.25	—	30.77	1103.25	2002
Palestine	Al-sari et al. (2012)	✓			✓		—	—	17 to 81	—	2012
Portugal	Coelho and de Brito (2011)	✓	✓	✓	✓	✓	1.97	186	114.30	1265	2008
Seoul, Korea	Seo and Hwang (1999)	✓		✓		✓	6.44	—	—	—	1994
Shanghai, China	Ding and Xiao (2014)	✓		✓		✓	13.71	842	—	1116 to 1634	2012
Shenzhen, China	Li et al. (2013)	✓			✓		—	—	40.70	—	2013
Spain	Rexiach et al. (2000) [Cited in	✓		✓	✓		—	—	114.47	1635.97	2000
	Mália et al., 2013)										
	Sáez et al. (2014)	✓			✓		—	—	117.5	—	2014
	Solis-Guzman et al. (2009)	✓		✓	✓		—	—	0.31 ^a	1.27	2009
	Llatas (2011)	✓			✓		—	—	0.14 ^a	—	2011
	Moyano and Agudo (2013)	✓			✓		—	—	80	—	2013
Taiwan	Hsiao et al. (2003)	✓		✓		✓	2.4	110	—	—	2001
Thailand	Kofoworola and Gheewala (2009)	✓				✓	1.1	18	21.38	—	2005
USA	United States Environmental	✓	✓	✓	✓	✓	170	530	—	—	2003
	Protection Agency (2009)										

C: Construcción; R: Renovación; D: Demolición; PL: Nivel de Proyecto; RL: Nivel Regional

Fuente: Ran & Kalidindi, 2017.

El dato reportado es de un 1,85% de generación de residuos plásticos por cada 100% de RCD. Igualmente reportan una densidad aparente de 0,6 TM/m³ y un factor de esponjamiento de 1,5. Comparativamente la cantidad de residuos plásticos en peso es muy baja respecto al peso de otros residuos como el concreto, la madera y el mismo vidrio, y por esta razón es que prácticamente no se le ha puesto importancia a la cuantificación y trazabilidad de los residuos plásticos generados en la construcción / demolición. Es importante también tomar en cuenta la densidad del material, y el factor de esponjamiento. La densidad aparente, implica que una TM de residuos plásticos tiene un volumen aparente de 1,66 m³. Sin embargo, también hay que tomar en cuenta que existen materiales como el poliestireno expandido empleado como aislante térmico y acústico cuya densidad ronda las 0,045 TM/m³.

9

ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA

A pesar de que la industria de la construcción es una de las más importantes por su contribución al desarrollo y al crecimiento económico del país, Costa Rica no cuenta con información actualizada ni sistematizada, sobre la generación de residuos en el sector de construcción. Se espera que esta situación se revierta con la creación de un reglamento para la gestión de residuos de demolición y construcción, el cual como se indica en el presente informe, está en proceso de consulta y de revisión por los diferentes sectores interesados.

Si bien el presente estudio tiene como meta el proponer la metodología para la determinación de residuos plásticos en RCD, es importante realizar el ejercicio de estimación de los residuos plásticos que se producen en el sector.

Aunque el objetivo principal de este estudio es proponer una metodología para la determinación de residuos plásticos en RCD, resulta fundamental llevar a cabo una estimación de los residuos plásticos generados en el sector. Para realizar esta estimación, se han considerado diversos aspectos generales y supuestos de partida, basados en las fuentes de información disponibles, entre las que se citan las siguientes:

- La investigación llevada a cabo por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (Leandro-Hernández, 2009) estimó que, en el año 2008, se generaron aproximadamente 800,000 toneladas métricas (TM) de RCD. Esto equivale a un promedio de 1,794 TM por día. De esta cantidad, el 37% corresponde a escombros, otro 37% a residuos de madera y el 26% a otros tipos de residuos. Dentro de estos "otros residuos" se incluyen los plásticos, aunque la investigación no proporciona datos desglosados específicamente sobre ellos.

- Ese mismo año 2008, el CFIA tramitó permisos de 8,71 millones de metros cuadrados para construcción.
- Según los datos generales del CFIA y el INEC, al dividir las 800,000 TM de RCD entre los 8.71 millones de m² de construcción, se obtiene un factor promedio de 92 kg de RCD por metro cuadrado. Para determinar si este valor es apropiado, lo comparamos con los valores encontrados en varias fuentes de la literatura. Esta comparación se puede apreciar en la Tabla 15. En esta podemos ver que el valor de 92 kg/m² es razonable y una buena aproximación. No debemos olvidar que la aplicación metodológica y recolección de datos sistematizada en el campo se requiere para lograr una estimación más precisa.
- Asimismo, en un segundo estudio realizado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (Abarca-Guerrero & Leandro-Hernández, 2016) Encontró valores de RCD que van desde 7 hasta 168 kg/m² en 5 proyectos de construcción, dando un promedio de 84 kg/m². Un valor cercano a los 92 kg/m² obtenidos por otro medio.
- Finalmente, al no contar con datos desagregados de residuos plásticos, se aplicó adicionalmente el factor de 1,85% residuos plásticos/RCD, reportado en la literatura. El resultado de la estimación por año desde el 2004 al 2023 se muestra en la Tabla 14.

Tabla 15. Reportes de generación de residuos de construcción por m²

País	Kg /m² Construcción	Miles de TM	Año
Brasil	97	ND	2013
Galicia, España	80	2.200	2011
Portugal	114,3	1.970	2008
Costa Rica	92	800	2008

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla 16. Estimación de residuos plásticos en construcción nueva.

Año	Área tramitada en el CFIA (miles de m ²)	Estimación RCD (miles de toneladas)	Estimación residuos plásticos 1,85% sobre RCD (miles de toneladas)
2004	7050	648,60	12,00
2005	6360	585,12	10,82
2006	6520	599,84	11,10
2007	7160	658,72	12,19
2008	8710	801,32	14,82
2009	5370	494,04	9,14
2010	6950	639,40	12,83
2011	6820	627,44	11,61
2012	7980	734,16	13,58
2013	7470	687,24	12,71
2014	7570	696,44	12,88
2015	8480	780,16	14,43
2016	9240	850,08	15,73
2017	9270	852,84	15,78
2018	9730	895,16	16,56
2019	10610	976,12	18,06
2020	7520	691,84	12,80
2021	8890	817,88	15,13
2022	8970	825,24	15,27
2023	9100	837,20	15,49
Total	159.770	14.698,84	260,74

Fuente: Elaboración propia, 2024.

De acuerdo a esta estimación se han generado un total de 14.698.000 TM de RCD de las cuales 260.740 TM corresponden a residuos plásticos en los últimos 20 años. Un promedio anual de 826.773 TM de RCD y de 15.300 TM de residuos plásticos en los últimos 3 años.

Este dato no toma en cuenta las remodelaciones, demoliciones y construcciones que se realizan sin contar con los permisos correspondientes y que por lo tanto no pasan por trámite en el CFIA.

10

RECUPERACIÓN Y RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN: CASO DEL PVC

La recuperación y reciclaje de RCD es una tarea difícil. Por un lado, los RCD se encuentran en un estado avanzado de deterioro, mezclados, fijados unos con otros y contaminados con otros materiales como materia orgánica y por otro lado la cantidad en peso y volumen demandan incurrir en altos costos para acopio, traslado, recuperación y disposición final. Por ello no es de extrañar que a los RCD se le brinde el mínimo grado de gestión en cuando a procesos de recuperación para reciclaje, y se prefiera enviar los mismos a disposición final en relleno sanitario o incurrir en la práctica de botar los RCD en sitios clandestinos. Como se anotó en la sección 7, las regulaciones a nivel internacional limitan a un porcentaje mínimo el envío de RCD a disposición final en rellenos sanitarios o sitios dedicados solo para escombros de construcción. Este el caso del estado de California que exige como mínimo una recuperación del 65% de los RCD y permite solo enviar máximo un 35% con altas tarifas a disposición final en sitios autorizados como desincentivo a esta práctica.

La tasa de recuperación/reciclaje de RCD en Costa Rica es difícil de estimar por la falta de información y de un reglamento en materia de gestión de RCD. Sin embargo, sin lugar a duda es muy baja ya que no hay control ni supervisión sobre la gestión de los residuos generados en las construcciones legales o ilegales y por la práctica de botaderos clandestinos.

Una alternativa intermedia entre la valorización y reciclaje de los RCD es la cogeneración. Este proceso consiste en utilizar residuos sólidos en el proceso de fabricación de cemento. Las altas temperaturas de los hornos cementeros aseguran la degradación de los materiales en comparación con sistemas de incineración de residuos a baja temperatura o a cielo abierto, como en el caso de los materiales plásticos, que libera sustancias contaminantes y cancerígenas al ambiente, como los furanos.

Sin embargo, precisamente en residuos plásticos de construcción, se ha mencionado que representan solo del 1,5 al 2% de los RCD, y también que una alta proporción es polímero de PVC, al ser uno de los materiales más empleados en cablería, tubería, canoas y sus accesorios y que más va ganando terreno en el mercado de acabados como paneles para paredes, pisos y cielo rasos. Estos materiales plásticos específicamente por su alto contenido de cloro no pueden ser procesados en hornos cementeros, ya que provocan problemas en el proceso, como depósitos de material en las paredes del horno y otros equipos, obligando a parar el proceso.

Empresas como Amanco Wavin, poseen un programa para reciclaje de recortes y sobrantes de piezas nuevas de tuberías, conectores y juntas de sus productos que son 100% PVC y que se generan en el proceso de construcción de obra nueva.

Una alternativa que se abrió para el reciclaje de residuos de PVC de construcción es su aprovechamiento para la fabricación de aglomerado sintético como sustituto del natural en la fabricación de concreto, como es caso de Resin8™ de la empresa CRDC Pedregal. Igualmente, tiene una limitante que el residuo a procesar sea material plástico sin otros materiales como metal, madera y celulosa, y es precisamente en estos productos

11

PRINCIPALES HALLAZGOS DEL PROCESO DE MAPEO Y CONSULTA DE FUENTES DE INFORMACIÓN

donde se está dando un crecimiento en el mercado.

A continuación, se resumen los principales hallazgos del proceso de investigación de fuentes de información, y experiencias reportadas, en cuantificación de residuos plásticos del sector construcción/demolición a nivel mundial y nacional. Como parte de la identificación y mapeo de sectores clave para la recopilación y captura de información, se realizaron reuniones con actores clave dentro de la industria de la construcción, academia y de los entes reguladores de la actividad.

Se realizaron reuniones con las siguientes personas representantes de diferentes sectores relacionados con la industria de la construcción.

- Ing. Gabriela Vallejo Astúa, directora de la Dirección de Sostenibilidad, Innovación y Competitividad, de la Cámara Costarricense de la Construcción.
- Arq. Iván Delgado Salazar, director de la carrera de Arquitectura de la Universidad Veritas, miembro del Green Building Council.
- Ing. Irene Baldiaceda, supervisora para proyectos en diseño y construcción sostenibilidad de Portafolio Inmobiliario.
- Dr.Ing. José Andrés Araya Obando director, Escuela de Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Ing. Rommel L. Cuevas Catedrático Escuela de Ingeniería en Construcción, TEC.
- Ing. Sofía Picado, Gestión de Residuos de construcción TEC.
- Ing. Miguel Artavia en representación al proyecto del Observatorio de la Construcción, TEC.
- Ing. Giannina Ortiz Centro de Investigación en Vivienda y Construcción, TEC.
- Ing. Alonso Poveda, Evaluador de Certificaciones de Productos y Gestión de Calidad,

TEC.

- Ing. Miguel Salas, Construcción Sostenible Comité Técnico Bandera Azul CFIA.
- Arquitecto Sergio Bolaños, jefe Sostenibilidad del CFIA.
- Ing. Karla Jiménez, Dirección del Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto
- Arq. Ana Maria Valenzuela, Arquitecta de Especificación, Lamitech.
- Adicionalmente se contó con información suministrada por el Ing. Eugenio Androvetto, de la Unidad de Radiología y Salud Ambiental del Ministerio de Salud.

A continuación, los principales hallazgos por área temática:

a) Identificación y cuantificación de RCD

- A nivel mundial, la industria de la construcción es el mayor generador de residuos plásticos, solo superado por la industria de empaques. Sin embargo, los materiales empleados en construcción tienen las vidas útiles más largas que van desde los 5 años y hasta más de 50 y 70 años.
- La cuantificación de residuos plásticos en RCD no ha sido de gran importancia para el sector de la construcción a nivel mundial, en parte por un porcentaje muy pequeño en comparación con el peso total de RCD como concreto, tierra y metales.
- En la mayoría de las experiencias reportadas, los residuos plásticos los clasifican en la categoría de otros materiales, no se cuenta con información segregada.
- De las experiencias reportadas a nivel mundial, entre 1,5% y un 2% del total en peso de residuos sólidos generados corresponden a residuos plásticos.
- La EPA estima que la generación de RCD en EEUU alcanzó en el 2018 los 600 millones de TM, de las cuales el 90% de los residuos generados se debe a demoliciones, mientras que el 10% corresponde a construcciones nuevas incluyendo remodelaciones.
- EUROSTAT ha realizado varios levantamientos estadísticos en cuanto a generación de RCD en la Unión Europea, contabilizando 850 millones de TM.
- España es uno de los países que va a la vanguardia en cuanto a trazabilidad de la generación de RCD y de residuos plásticos en construcción, reportando entre un 1,85% del total en peso de residuos generados.

2. Generación de RCD

- Se identifican tres momentos diferentes en que se generan RCD: construcción de obra nueva, remodelación/ampliación, demolición.
- La mayor parte de los residuos plásticos en RCD se generan en las remodelaciones internas, como la reposición y cambio de pisos, cielorrasos, paneles internos, aislantes

de calor.

- Un factor preliminar de generación de residuos plásticos en construcción es de 92Kg de residuos plásticos / m².
- Del 2021 al 2023 se estima una generación promedio anual de 15 300 TM de residuos plásticos en Costa Rica provenientes del sector construcción.

3. Impacto en el ambiente

- El potencial impacto al ambiente y a la salud de residuos de PVC en particular. La Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA), ha identificado cerca de 470 aditivos para PVC y 63 de ellos se han listado como prioritarios en una investigación sobre el impacto a la salud y al medio ambiente. Los aditivos para PVC se pueden agrupar en tres grandes familias: estabilizadores para calor, plastificantes y retardantes de flama. La Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (2023) llama la atención a la necesidad regular el empleo de estos aditivos en particular los plastificantes tipo orto-ftalatos, que han sido confirmados como disruptores endocrinos que afectan el funcionamiento del sistema endocrino y el sistema reproductivo en los seres humanos.
- La mayoría de los materiales plásticos que se emplean en construcción y sobre todo en acabados internos contienen retardantes a la llama.
- Del 2021 al 2023 se estima una generación promedio anual 826.773 TM de RCD. La gran mayoría de ellos no cuenta con trazabilidad ni seguimiento, y tienen como destino final botaderos y sitios clandestinos.

4. Tendencias de la industria

- El mayor polímero consumido por la industria de la construcción y por consiguiente en residuos generados es el PVC, en promedio un 70% del total de los residuos plásticos generados corresponde a materiales de PVC.
- Los pisos, cielorrasos, paneles prefabricados para paredes de PVC y PVC reforzado han venido ganando mercado a nivel internacional y nacional, en parte por su alta durabilidad y versatilidad.
- Una observación importante son los pisos de PVC reforzados con concreto o con madera, que por un lado le brindan mayor durabilidad y resistencia, alargando la vida útil del material, sin embargo, también presenta grandes retos a futuro para el tema de reciclaje de este material, que ya de por sí el PVC presenta grandes limitantes, todavía más en un aglomerado con reforzamiento añadido.
- El poliestireno expandido en paneles prefabricados tipo sándwich, permiten regular la temperatura de la vivienda, alivianar el peso y también reducen el costo de la construcción a un 70% comparado con el concreto, por lo que es una alternativa muy atractiva para la construcción liviana.
- Cada vez se emplean más materiales plásticos en construcción, sobre todo en acabados internos y que no solo están condicionados a la vida útil del material, sino que también depende del diseño y la moda, con lo cual un material a pesar de aún tener vida útil es reemplazado por razones estéticas. Las tendencias en diseño se

generan cada vez en períodos más cortos como 5 años o menos.

- En Costa Rica todavía no se ha dado la tendencia al empleo de molduras de ventanas y puertas en PVC, predominando los perfiles de aluminio, sin embargo, si se sigue la tendencia mundial, los perfiles de aluminio será desplazados por materiales de PVC.
- Igualmente, tampoco se evidencia en el corto plazo en el mercado el uso de tuberías de polietileno como sustituto de las tuberías de PVC para agua potable, pero igualmente su sustitución viene en aumento.
- Existen alternativas en pisos y paneles de paredes fabricados a base de resinas fenólicas.

5. Ciclo de vida de los materiales plásticos en construcción:

- El ciclo de vida de una edificación varía entre los 45 y hasta 120 años, según el CFIA.
- Los materiales plásticos empleados en construcción son los que cuentan con ciclos de vida más largos, que van desde los 3 años hasta más de 50.
- A lo largo del ciclo de vida de la edificación, se tendrán que reemplazar materiales debido al deterioro, fin de su vida útil o por remodelaciones que sufra el inmueble.
- El ciclo de vida se ve reducido especialmente por las tendencias de la moda y el diseño, con ciclos de 5 a 10 años.
- Hay que tomar en cuenta que la generación del residuo plástico en construcción se dará en el mediano y largo plazo y en forma acumulativa.

6. Falta de información y estadísticas

- Las metodologías reportan la generación de RCD por metro cuadrado o por persona.
- No se cuenta en Costa Rica con información ni estadísticas específicas en cuanto a generación de RCD y residuos plásticos en construcción y demolición.
- Uno de los grandes problemas son las construcciones ilegales (clandestinas), las cuales no reportan la generación y el destino de los residuos generados. La mayor parte de las remodelaciones que se realizan en hogares particulares caen en esta categoría.
- La Cámara Costarricense de la Construcción no cuenta en este momento con información y estadísticas en generación y gestión de RCD. Recién fue creada la Dirección de Sostenibilidad, Innovación y Competitividad que tiene como prioridad el levantamiento de una línea base para el desarrollo de una estrategia sectorial.
- Las empresas constructoras y las empresas desarrolladoras, como Portafolio Inmobiliario han venido trabajando en el levantamiento de información de interés en gestión de residuos, como requisito fundamental para poder obtener certificaciones como LEED. Llama la atención que la gestión de residuos plásticos no ocupa un puesto importante

y en los reportes solicitados aparecen dentro de la categoría de otros materiales.

- En el caso de Portafolio Inmobiliario particularmente en centros comerciales como Avenida Escazú y Plaza Lincoln, los locales comerciales son alquilados y las remodelaciones corren por cuenta de los inquilinos, sin embargo, la gestión de los residuos sigue siendo responsabilidad del desarrollador. Desde inicios de 2022 iniciaron mediciones en 14 desarrollos, 2 centros comerciales, 2 de uso industrial (ahora con el tercero). Poseen datos de más o menos 10 proyectos. Están vinculando a las constructoras pues Portafolio Inmobiliario tiene el rol de Project Manager, y los ingenieros internos supervisan a las empresas contratadas para la construcción de la obra. Dentro del procedimiento de toma de datos son el factor principal para la recolección de datos ordenados, validados y auditables por terceros, necesarios para una certificación.
- La plataforma APC del CFIA tiene un rol primordial como base de datos para realizar proyecciones sobre la generación futura de RCD y residuos plásticos, tomando como referencia la vida útil promedio de las edificaciones.

7. Gestión de RCD, recuperación y reciclaje

- A nivel internacional, se han impuesto regulaciones en la cantidad de RCD que una empresa puede enviar a disposición final, exigiendo tasas de recuperación, reutilización y reciclaje.
- Uno de los problemas de gestión de residuos de demolición es el factor de esponjamiento, lo que aumenta el volumen y disminuye el peso volumétrico del residuo, incrementando los costos de transporte y disposición.
- La recuperación y aprovechamiento de los RCD se ve limitada por el grado de deterioro y contaminación de los residuos, igualmente por mezclas de materiales difíciles de separar.
- El reciclaje de los productos fabricados a base de PVC se hace cada vez más difícil ya que no puede procesarse en hornos cementeros y otras tecnologías requieren que el material sea 100% plástico sin rellenos como celulosa o madera.
- No se pueden plantear metas de reducción en la generación de RCD, al no contar con una línea base, con datos debidamente validados y actualizados.

8. Normativa y reglamento RCD

- Se evidencia la necesidad de contar con un reglamento que regule las actividades relacionadas con la RCD como en otros países, donde se establecen porcentajes de reutilización, recuperación, reciclaje y disposición final de RCD en sitios especializados como escombreras.
- El Ministerio de Salud está liderando el proceso de creación de un reglamento para el manejo de residuos de construcción y demolición. Actualmente se encuentra

en consulta con los diferentes sectores involucrados. Es importante señalar que el reglamento en consulta es bastante general y carece de detalles específicos, por lo que sería fundamental que pase por un proceso de construcción participativa. Además, resulta crucial incluir las remodelaciones como actividades relevantes en la generación de residuos, especialmente los plásticos, y establecer la figura de sitios especializados para la gestión específica de RCD.

- La obligatoriedad de contar con regentes ambientales para cierto tipo de construcciones, especialmente las de gran magnitud, sería un avance importante para generar una evaluación del manejo de residuos plásticos, específicamente. Estos regentes deben estar certificados por la Secretaría Técnica Ambiental (SETENA) y es mediante esta certificación que se podrían desarrollar y poner en práctica herramientas e instrumentos para la cuantificación de los residuos plásticos.

9. Metodología para cuantificación de residuos plásticos en construcción

- El desarrollo de una metodología para cuantificar residuos plásticos y RCD, debe tomar en cuenta los diferentes tipos de obra (construcción nueva, remodelación, demolición), así como la zona geográfica, y tamaño de la obra, ya que son los factores que más inciden en la generación de los mismos.
- La metodología propuesta debe asegurar el contar con una muestra representativa de cada tipo de obra según sus características, con el fin de poder extrapolar los resultados obtenidos al total de la población o universo.
- Ya existen esfuerzos puntuales de ciertas organizaciones en cuantificar residuos en construcción, como parte de un programa de certificación. En estas organizaciones adaptar y articular la metodología propuesta será un proceso más ágil, al contrario de las PYMES y contratistas individuales que no están acostumbrados a un levantamiento de información y reporte periódico.

10. Aliados estratégicos para implementación y validación de metodología

- El programa Bandera Azul del CFIA se identifica como un aliado estratégico para la validación de la metodología propuesta para la cuantificación de RCD.
- 1. Cuatro Estrellas:** lo obtendrá el proyecto que cumpla con los requisitos de la tercera estrella y que, además, haya promovido el concepto de construcción sostenible y el Programa Bandera Azul Ecológica en la comunidad.
 - 2. Cinco Estrellas:** lo obtendrá el proyecto que cumpla con los requisitos de las Cuatro Estrellas, al tiempo que la empresa (cliente, desarrollador o diseñador) haya sido galardonado en alguna otra categoría de Bandera Azul Ecológica y que, además,

12

PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN CONSTRUCCIÓN / REMODELACIÓN / DEMOLICIÓN

se encuentre vigente en el año del proceso constructivo.

La identificación y cuantificación de RCD presenta un gran reto. Especialmente cuando el país no cuenta con información actualizada y validada de la generación de residuos en general en el sector, con el agravante que el reglamento para la gestión de los RCD está apenas en proceso de elaboración. A esto se le suma el tema de la falta de control en las remodelaciones / construcciones clandestinas, cuya práctica de manejo de los residuos generados, igualmente se hace al margen de la ley. Considerando lo anterior, y con base en el intercambio de experiencias y opiniones de los diversos grupos y personas entrevistadas durante este trabajo es que se plantea un método para tener datos cuantitativos de residuos plásticos en el sector construcción. Esta consiste en la aplicación de un instrumento de levantamiento de información, por medio de una herramienta digital en línea y aplicado a una muestra representativa de obras de construcción, remodelación y demolición, en un período menor o igual a 12 meses.

En el desarrollo de la presente investigación, se evidenció el gran reto que representa la identificación y cuantificación de los RCD debido a la poca información que se maneja en el sector en cuanto a la generación y gestión de esos residuos.

A esto se le suma el tema de la falta de control en las remodelaciones / construcciones clandestinas, cuya práctica de manejo de los residuos generados, igualmente se hace al margen de la ley.

En las consultas con representantes de la industria y sectores interesados, igualmente se concluye la urgente necesidad de contar con un reglamento para la gestión de los residuos generados en las actividades de construcción de obra nueva, remodelación y

demolición.

La metodología propuesta, debe considerarse como un instrumento para recolectar información de calidad en tiempo y forma, empleando tecnología como un instrumento facilitador del levantamiento, sistematización y análisis, y su empleo como insumo en la toma de decisiones o de generación de política pública para combatir la contaminación generada por residuos plásticos en este sector de la economía.

Si bien el objetivo último es la cuantificación de los residuos plásticos, la metodología propuesta es amplia hacia todos los RCD generados en su totalidad, considerando que es importante obtener el máximo provecho a un esfuerzo de levantamiento de información.

Otro aspecto importante que se considera es aprovechar el instrumento para recolectar otra información valiosa como lo son los costos asociados a la gestión de los RCD generados.

A continuación, se presenta la propuesta metodológica para el levantamiento de la

METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN EL SECTOR DE CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA

OBJETIVO

Cuantificar la generación de residuos plásticos en el sector construcción, remodelación, demolición

información en cuanto a generación de RCD.

Objetivos específicos:

- Determinar los factores y variables que influyen en la obtención de información válida y actualizada
- Identificar y cuantificar de residuos plásticos generados en dos categorías: Polímeros de PVC y otros plásticos.
- Identificar y cuantificar los residuos plásticos generados por tipo de actividad: obra nueva, remodelación, demolición.
- Identificar y cuantificar los residuos plásticos generados por tipo de obra.
- Establecer un modelo simplificado de levantamiento de la información, sus requisitos y características.
- Vincular al sector construcción para su participación en el levantamiento de la información.
- Identificar las mejores prácticas realizadas por el sector en la gestión de residuos plásticos.
- Desarrollar factores de generación de residuos plásticos por área construida, por peso total residuos generados, para cada actividad y tipo de obra.

SOCIOS

Socios en la implementación

- Identificar y cuantificar sitios de disposición final de los RCD generados.

La aplicación de esta metodología requiere necesariamente la participación de socios estratégicos que aporten insumos, herramientas, personal y experiencia, y sean facilitadores del proceso. Entre los socios estratégicos identificados se proponen:

- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos CFIA, Programa Bandera Azul
- Cámara Costarricense de la Construcción
- Escuela de Ingeniería en Construcción ITCR
- Green Building Council Costa Rica
- Dirección de Gestión de Calidad Ambiental, MINAE
- Dirección de Radiología y Salud Ambiental, Ministerio de Salud

APLICACIÓN

Alcance del instrumento y calidad de la información recolectada

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
- Esta metodología está propuesta para ser aplicada en forma amplia a las actividades de construcción, remodelación y demolición, que se realizan en todo el territorio nacional a través de un formulario en línea y de fácil acceso a través de cualquier dispositivo móvil.
- Es un instrumento para ser utilizado por las empresas en el sector inmobiliario, empresas de construcción/demolición o contratistas individuales, para el levantamiento de información sobre la generación de residuos y la gestión de estos, desagregándola por tipo de residuo.
- La calidad de la información recolectada dependerá del grado de compromiso del usuario, para desarrollar y cumplir con protocolos particulares para realizar el levantamiento en tiempo y forma. Si la organización, empresa o contratista ya cuenta con un sistema de levantamiento de información sobre generación y gestión de residuos, puede incorporar esta herramienta como complemento o mejora a los protocolos con que cuenta actualmente.
- Las organizaciones, empresas o contratistas, deberán designar a las personas responsables de supervisar el cumplimiento de los protocolos de levantamiento de información y a las personas a cargo de la compilación de los datos recolectados

DATOS

Requerimientos para contar con datos de calidad y útiles para análisis y toma de decisiones

para su análisis.

- Para que la información recolectada sea de utilidad, deberá asegurarse que la misma sea uniforme y consistente en unidades de medida (Kg y TM) y en los parámetros temporales de frecuencia establecidos.
- Los datos deberán corresponder en la medida de lo posible a la realidad de la generación de los residuos.
- El personal a cargo de la identificación y cuantificación de los residuos deberá contar con la capacitación correspondiente y deberá contar con las herramientas que le

POBLACIÓN META

Población meta para aplicación de la metodología

permitan identificar y cuantificar con la mayor exactitud posible los RCD.

Se ha diseñado la presente metodología para la recolección de información en una muestra representativa de las diferentes modalidades de construcción /remodelación / demolición tomando en cuenta variables particulares como ubicación geográfica, tamaño de la obra, y tipo de organización a cargo del proceso de construcción, de esta forma se podrán extrapolar los resultados al total de la población. Otro aspecto importante es considerar el tipo de empresa que realizará la construcción. No es comparable una empresa constructora grande que realiza obras bajo algún sello de construcción sostenible como Leed, o Bandera Azul y que cuentan con experiencia en el levantamiento de información bajo protocolos definidos, que una empresa pequeña o un contratista individual que se dedican a las obras de menor tamaño o a remodelaciones y que cuentan o no con certificaciones. Por lo tanto, es necesario definir una muestra representativa de diferentes tipos de construcciones.

i. Tipo de construcción:

- Casas de interés social
- Casas de habitación
- Proyectos residenciales
- Edificios de apartamentos
- Centros de oficinas
- Centros comerciales
- Bodegas industriales
- Infraestructura

ii. Ubicación geográfica

- Rural
- Urbana

iii. Tamaño de la obra en m²

iv. Modalidad

- Obra nueva
- Remodelación

- Demolición

v. Tipo de empresa

- Grande
- Mediana
- Contratista individual

VINCULACIÓN

Reclutamiento y vinculación de empresas constructoras

vi. Certificaciones en construcción sostenible

Definida la población meta, el siguiente paso es realizar un proceso de reclutamiento y vinculación de empresas constructoras y/o contratistas individuales, que se comprometan a participar en el ejercicio y cumplir con el protocolo de levantamiento de información y generación de los reportes correspondientes en una determinada obra constructiva. Un medio facilitador de este proceso es el programa Bandera Azul del CFIA, que ya tiene vinculadas a empresas constructoras del sector, y que ya cuentan con experiencia en el

GESTIÓN

Lugar y disposición temporal seguro de los RCD durante la obra y proceso de identificación / cuantificación

levantamiento de información para el cumplimiento de certificaciones en sostenibilidad.

- Durante la realización de la obra, se generan los RCD en cantidad y volumen que depende del tipo de actividad que se esté realizando. Se debe contar con un espacio fijo o temporal adecuado y seguro, para el acopio y clasificación de los RCD.
- Dependiendo de la capacidad de acopio, se deberá ajustar la frecuencia del levantamiento de datos, para evitar que sean retirados RCD sin identificación, clasificación y cuantificación.
- Los residuos deben ser clasificados y separados en el mismo sitio de generación para ser trasladados al lugar temporal designado. Si se trasladan todos mezclados la labor de clasificación, separación, pesaje es muy difícil y costosa en tiempo y recursos, sino imposible y la información correspondiente se pierde.
- La clasificación y separación en el sitio de generación facilita los procesos posteriores de identificación, facilita su traslado y reduce costos de manejo.
- Las personas encargadas de levantar manual o mecánicamente los RCD deben

contar con el equipo de protección adecuado.

El protocolo propuesto para el levantamiento de la información cuenta con un formulario digital para llenado en línea por medio de una aplicación para dispositivos electrónicos, donde el primer paso es el registro de la empresa constructora o persona contratista a cargo de la obra.

- Registro: esta información que se una levanta una sola vez al realizar el correspondiente registro de la obra.
 1. Lugar y dirección de la obra: provincia, cantón, distrito
 2. Empresa / organización / contratista a cargo, teléfono, correo
 3. Persona contacto teléfono, correo
 4. Personas autorizadas para generar el informe. A cada una de estas personas el sistema debe generar un usuario y solo esas personas podrán subir el informe al sistema.
 5. Fecha del registro
 6. Tipo de actividad: construcción nueva, remodelación, demolición
 7. Tipo de construcción: vivienda social, vivienda, comercial, industrial, carreteras
 8. Área de la obra
 9. Tiempo estimado de la obra
 10. Cantidad estimada previa de desperdicios (definición CFIA)
 11. Frecuencia estimada de reporte
 12. Certificaciones o programas en construcción sostenible o similares
- Reporte: esta información corresponde al informe periódico que sube en línea sobre la generación de RCD en un determinado período de tiempo con la siguiente información:
 1. Cantidad en peso y volumen: residuos sólidos totales, residuos sólidos por tipo (tierra, piedra, concreto, vidrio, metal, papel y cartón, plásticos, otros), residuos plásticos por tipo (Familia PVC y otros plásticos)
 2. Nombre gestor(es) autorizado(s) por tipo de material: recolector, transporte, reciclador, disposición final que gestionan los residuos generados.
 3. Residuos ordinarios generados: orgánicos, plásticos, papel cartón, vidrio, metal
 4. Nombre(s) gestor(es) autorizado(s) residuos ordinarios.
 5. Costo de gestión/disposición de los residuos generados.
 6. Certificaciones o programas construcción sostenible o similares
 7. Indicar si es reporte final y cierre de obra.
- Revisión previa del reporte: El formulario digital permite salvar un borrador para que el usuario verifique y realice las correcciones necesarias.
- Envío del informe en línea

PERÍODO

Definición del período de tiempo de aplicación de la metodología

- Sistematización de la información, generación reportes globales trimestrales
- El período de aplicación de la metodología a las obras de construcción será igual o

MEDIDA

Proceso de medida, estimación del peso de RCD

menor a doce (12) meses calendario.

- El principal reto para la cuantificación de los RCD es que no se cuenta con básculas en el sitio de la obra. Generalmente el pesaje se realiza posteriormente en las básculas de carretera, donde se pesa el camión de transporte con todos los residuos mezclados o en los sitios de disposición final al momento de hacer entrega de los RCD. Para la determinación de los residuos de construcción es fundamental el poder hacer esas mediciones en sitio para poder tener datos más específicos más precisos

INDICADORES

Indicadores de generación RCD y residuos plásticos

Tabla 17. Indicadores de generación RCD y residuos plásticos.

Nombre del indicador	Descripción	Indicador	Frecuencia
Composición de RCD generados	Peso y porcentaje de RCD por tipo generados en un mismo período	$\frac{\text{Cantidad RCD por tipo (peso)} \times 100}{\text{Total, RCD (peso)}}$	Mensual
Composición de residuos plásticos generados por peso total residuos	Peso y porcentaje de residuos plásticos desagregado en PVC y otros plásticos	$\frac{\text{Cant. Plásticos por tipo (peso)} \times 100}{\text{Total, RCD (peso)}}$	Mensual
Generación de RCD por área, por tipo de obra	Peso de RCD por tipo generados por unidad de área, por tipo de obra	$\frac{\text{Cant. RCD por tipo (peso)}}{\text{Área de construcción (m}^2\text{)}}$	Mensual
Composición de residuos plásticos por área por tipo de obra	Peso y porcentaje de residuos plásticos desagregado en PVC y otros plásticos por unidad de área por tipo de obra	$\frac{\text{Cant. Residuos plast. por tipo (peso)}}{\text{Área de construcción (m}^2\text{)}}$	Mensual
Cantidad RCD recuperados por tipo, por obra	Peso y porcentaje de RCD por tipo, por obra recuperados para reúso, reciclaje	$\frac{\text{Cant. RCD recuperados (peso)} \times 100}{\text{Total RCD (peso)}}$	Mensual
Cantidad RCD recuperados por tipo, por obra	Peso y porcentaje de RCD por tipo generados en un mismo período	$\frac{\text{Cantidad plásticos recuperados (por tipo, por obra) (peso)} \times 100}{\text{Total, residuos plásticos (peso)}}$	Mensual
Cantidad de residuos ordinarios por tipo, por obra	Peso y porcentaje de residuos ordinarios generados por tipo de obra	$\frac{\text{Cant. Residuos ordinarios (por tipo, por obra) (peso)} \times 100}{\text{Total residuos ordinarios (peso)}}$	Mensual
Cantidad de residuos ordinarios recuperados por tipo, por obra	Peso y porcentaje de residuos ordinarios recuperados para reúso, reciclaje	$\frac{\text{Cant. Residuos ordinarios (por tipo por obra) reúso, reciclaje(peso)} \times 100}{\text{Total, residuos ordinarios (peso)}}$	Mensual

Fuente: Elaboración propia, 2024.

VALIDACIÓN

Verificación en campo
y validación de datos

y más controlados.

- Como medio de validación, se realizarán visitas a campo para verificación del cumplimiento de los protocolos correspondientes, y para evaluar la practicas y el grado de gestión y conocimiento de las personas que trabajan en la obra.
- Las vistas de campo permiten brindarle seguimiento y realizar las correcciones necesarias para la aplicación correcta de la metodología.
- También sirve como medio de verificación en el caso de presentarse inconsistencias

SISTEMATIZACIÓN

Sistematización, análisis y reportes

en la data recolectada.

- La primera semana de cada mes, se realizará el ejercicio de sistematización de la información recolectada en el mes anterior.
- El análisis de la información y del comportamiento de los indicadores correspondientes.
- Extrapolación de los resultados a la población total.

INSUMOS

Insumos, herramientas y equipos

- Estimación de la generación de residuos plásticos y de RCD.

Insumos necesarios para la implementación y prueba de esta metodología:

- Aplicación para dispositivos móviles para IOS y Android
- Plataforma web
- Tabla conversión peso/volumen de residuos disponible en la aplicación
- Conectividad
- Equipo de pesaje
- Personal para verificación en campo

- Personal para análisis de datos

A continuación, las principales recomendaciones

1. Articular con el programa de Bandera Azul del CFIA, aprovechando la plataforma de información para facilitar su desarrollo y gestión de la herramienta tecnológica para la recolección, sistematización, análisis y reporte.
2. Coordinar con la Cámara Costarricense de la construcción, para mapear e identificar empresas constructoras líderes en temas de construcción sostenible y que tienen protocolos establecidos para el levantamiento de información para procesos de certificación. Con esas empresas se puede validar la metodología propuesta.
3. Articular con la Escuela de Ingeniería en Construcción del TEC y con la Escuela de Arquitectura de la Universidad Veritas como representantes académicos y de apoyo en investigación en el proceso de implementación y validación la metodología propuesta.
4. Generar una mesa de trabajo multisectorial y con partes interesadas para socializar los hallazgos del presente estudio y poner sobre la mesa la problemática presente y futura que representa la mala gestión de los residuos plásticos generados en la industria de la construcción.
5. Desarrollar espacios de capacitación en temas del uso de materiales plásticos y

i. Plásticos

ABS: Acrilonitrilo Butadieno Estireno
BDE209: Decabromo Difenil Éter
BPA: Bisfenol A
CFIA: Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica.
CPVC: PVC Clorado
DDE: Diclorodifenildicloroetileno
DDTs: Diclorodifeniltricloroetano y Compuestos Relacionados
EPR: Polietileno Polipropileno con Caucho
EFTE: Etilen Tetrafluoro Etileno
HCHs: Hexaclorociclohexano-Isómeros
HDPE: Polietileno de Alta Densidad (PEAD)
LDPE: Polietileno de Baja Densidad (PEBD)
NPs: Nonilfenoles
OCPs: Pesticidas Organoclorados
OPs: Octilfenoles
PA: Poliamidas
PAHs: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
PBDEs: Difeniléteres Polibrominados
PC: Policarbonato
PE: Polietileno
PET: Poli eEtilen Ter-Ftalato
PFASs: Sustancias Perfluoroalquilo
PFCs: Compuestos Perfluorinados
PMMA: Poli Metil Metacrilato
POM: Polioximetileno (Poliformaldehido)
PoTSs: Sustancias Potencialmente Tóxicas
PP: Polipropileno
PS: Poliestireno
PS-COOH: Poliestireno Carboxilato
PSE: Poliestireno Expandido
PSU: Poliarilsulfona
PUR: Poliuretano (PU)
PVC: Poli Cloruro de Vinilo

PVDF: Fluoruro de Polivilideno
SPC: Material Compuesto PVC - Caliza
TE: Teflón
TPE: Elastómeros Termoplásticos
UV: Ultravioleta
WPC: Material Compuesto PVC - Madera
XLPE: Polietileno Reticulado

ii. Organizaciones

CCC: Cámara Costarricense de la Construcción
CFIA: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos
ECHA: Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas
EPA: Agencia de Protección del Ambiente EUA
EUROSTAT: Oficina de Estadísticas Unión Europea
ICCYC: Instituto Costarricense del Cemento y el Concreto
INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censo
MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía, antes Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones MINAET
MIVAH: Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos
TEC: Instituto Tecnológico de Costa Rica
SETENA: Secretaria Técnica Ambiental
UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

iii. Definiciones y medidas

LEED: Certificación Leadership in Energy and Environmental Design
LER: Código de la Lista Europeade Residuos
m³: Metros Cúbicos
RCD: Residuos de Construcción y Demolición (RCD)
TM: Toneladas Métricas

gestión de sus residuos en construcción.

Abarca-Guerrero, L. (2017). Nivel de importancia de las causas de generación de residuos en la construcción en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 30(4).

Abarca-Guerrero, L., & Leandro-Hernández, A. (2016). Situación actual de la gestión de los materiales de construcción en Costa Rica. *Tecnología en marcha*, 29(4).

Bomberos Voluntarios. (22 de enero de 2024). Obtenido de Curso para incendios en materiales plásticos:

<http://www.noroestebonaerense.com.ar/bomberos/bomberosnoroeste/Cursos/IncendiosMaterialesPlasticos/IncendiosMaterialesPlasticos.html>

CalRecycle. (s.f.). CalRecycle. Recuperado el 5 de marzo de 2024, de <https://calrecycle.ca.gov>

CalRecycle. (s.f.). CalRecycle. Recuperado el 5 de marzo de 2024, de Construction and Demolition (C&D) Diversion Informational Guide: <https://calrecycle.ca.gov>

Centro de Información técnica, Gerencia Técnica. (24 de febrero de 2024). Plásticos en la construcción su contribución a la salud y el medio ambiente. Obtenido de www.plastivida.com.ar

CFIA. (s.f.). <https://cfia.or.cr>. Recuperado el 6 de marzo de 2024, de <https://cfia.or.cr/datosabiertos/empresas.html>

Chalmin, P. (2019). The history of plastics: from the Capitol to the Tarpeian Rock. *Field Actions Science Reports*(Special Issue 19),. Obtenido de <https://journals.openedition.org/factsreports/5071>

Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (2022). Perspectivas 2022. Obtenido de <https://cfia.or.cr/estadisticasCons.html>

Comisión del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias. (2017). Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias. Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. (Junio, 2002). Resolución No. 307. Obtenido de

<https://www.legisweb.com.br>

Coronado, M., Dosal, E., Coz, A., & Viguri, J. (2011). Estimation of construction and demolition waste (C&DW) generation and multicriteria analysis of C&DW management alternatives: A case study in Spain. *Waste Biomass Valor*, 2(3), 209-225. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9071-7>

Dsuntech. (2024, 24 de enero). Absorbentes de UV comúnmente utilizados como aditivos en plásticos. Dsuntech. <https://es.dishengchemchina.com/info/uv-absorbers-commonly-used-as-additivesin-pla-80596430.html>

Eagle. (2024, 24 de enero). Obtenido de <https://www.eagle.cr/productos/>.

El plástico en la arquitectura moderna. (2024, 24 de enero). Obtenido de <https://ovacen.com/el-plastico-en-la-arquitectura-moderna/?cmlz-forcereload=1707245695573>

Fernández, R. (2024, 28 de febrero). Statista. Recuperado el 15 de marzo de 2024, de <https://es.statista.com/estadisticas>

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

Gobierno de España. (2008). Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. Agencia Estatal, Boletín Oficial de Estado. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2008/02/01/105/con>

Granados Meléndez, H., Fernández Castillo, J., & López-Asiain Martínez, J. (2020). Ratios nacionales. Generación de residuos de construcción y demolición (C. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, Ed.). Ambrona Hermanos, S.L.

Grupo Adol. (s.f.). Grupo Adol. Recuperado el 8 de marzo de 2024, de <https://adol.co.cr/proyectos.html>

INVU. (2022). Reglamento de Construcciones. Actualización 2022 (Vols. 94, Alcance 102). La Gaceta.

Kabirifar, K., Mojtahedi, M., & Wang, C. C. (2021). Systematic Review of Construction and Demolition Waste Management in Australia: Current Practices and Challenges. *Rcycling*.

Kofoworola, O. F., & Gheewala, S. H. (2009). Estimation of construction waste generation and management in Thailand. *Waste Management*.

Leandro-Hernández, A. G. (2009). Administración y Manejo de los Desechos en Proyectos de Construcción. Etapa 2 Alternativas de Manejo. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Phelps Dodge International Thailand. (24 de enero de 2024). Medium voltage Power cables.

Obtenido de <https://www.pdcable.com/en/home-2/>

Pidugu, A., Khandelwal, U., Rathi, R., Murjani, R., Potlapally, S., & Shirish, M. J. (2022). C and D waste treatment and policies in Australia, China, and India: A comparative Study. *Journal of Construction Management*.

Procuraduría General de la República. (24 de mayo de 2004). Sistema de Información Jurídica. Recuperado el 5 de marzo de 2024, de Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) N° 31849-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC: <https://www.pgrweb.go.cr>

Procuraduría General de la República. (24 de junio de 2010). Sistema Costarricense de Información Jurídica. Recuperado el 1 de marzo de 2024, de Ley para la Gestión Integral de Residuos N° 8839: <https://www.pgrweb.go.cr>

Procuraduría General de la República. (5 de junio de 2019). Sistema de Información Jurídica. Recuperado el 5 de marzo de 2024, de Construcción sostenible en el sector público. Directriz N° 050-MINAE: <https://www.pgrweb.go.cr>

Proeléctrica, T. (2024, 23 de marzo). Ingeniería eléctrica. Obtenido de <http://www.proelectrica.net/blog/vida-util-del-sistema-electrico.html>

Programa CYMA, Ministerio de Salud. (s.f.). www.programacyma.com. Recuperado el 5 de marzo de 2024, de <https://inec.cr/wwwisis/documentos/INEC/Medio%20Ambiente/Gesti%F3n%20Integral%20de%20los%20Residuos%20S%F3lidos/PRESOL%20-%20Resumen.pdf>

Ram, V. G., & Kalidindi, S. N. (2017). Estimation of construction and demolition waste using waste generation rates in Chennai, India. *Waste Management & Research*. doi:10.1177/0734242X17693297

Resintech, USA, Inc. (25 de enero de 2024). Obtenido de Resintech, USA, Inc.: <https://esp.resintech.co.cr/esp/nosotros/>

Shooshtarian, S., Maqsood, T., Khalfan, M., Wong, P., & Yang, R. (2019). Construction and Demolition Waste Management in Australia: Review of Differences in Jurisdictional Regulatory Frameworks. En C. W. Congress (Ed.). Hong Kong SAR, China.

Shooshtarian, S., Maqsood, T., Wong, P. S., Khalfan, M., & Yang, R. J. (2021). The impact of new international waste policies on the Australian construction and demolition waste stream. *Proceedings of the 44th AUBEA Conference*. Deakin University, Australia.

State of California. (12 de 2021). Obtenido de California Code of Regulations Title 14, Division 7.

UICN/Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe. (Agosto de 2018). Recuperado el 5 de abril de 2024, de <https://construccionsostenible.cfia.or.cr>

United States Environmental Protection Agency. (s.f.). EPA. Recuperado el 10 de marzo de 2024, de Construction and Demolition Debris: Material-Specific Data: <https://www.epa.gov/>

Villoria Sáez, P., & Osmani, M. (2019). A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118400. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118400>

Vinilit by aliaxis. (Enero de 2024). Obtenido de <https://www.facebook.com/Vinilitbyaliaxis/videos/548730323430973/> Winkor, V. A., Ebere, E. C., Ngozi, V. E., & Oharley, N. K. (2019). Microplastic-toxic chemical interaction: A review study on quantified levels, mechanism and implication. *SN Applied Sciences*, 1(11), 1400. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1440-x>

Yizhaki-Madar, A. (25 de marzo de 2024). Palram.com. Obtenido de <https://www.palram.com/blog/construction-architecture/plastic-waste-in-construction/>

Desarrollo de una metodología para cuantificar residuos plásticos en el sector construcción de Costa Rica



MINISTERIO DE
AMBIENTE Y ENERGÍA

GOBIERNO
DE COSTA RICA



MINISTERIO
DE SALUD

GOBIERNO
DE COSTA RICA

