

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y DE ADMINISTRACIÓN**

**TRABAJO FINAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS**

**DISEÑO DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE CIRCULARIDAD EN OBRAS
DE CONSTRUCCIÓN**

por

**Cecilia Pereira
Hernan Mata
Paul Gudiño**

**TUTOR:
Javier Ramos**

**Montevideo
URUGUAY
2022**

Página de Aprobación

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba el Trabajo Final:

Título

DISEÑO DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE CIRCULARIDAD EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

Autor/es

Cecilia Pereira

Hernan Mata

Paul Gudiño

Tutor/Coordinador

Javier Ramos

Posgrado

MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

Puntaje

.....

Tribunal

Profesor.....
(nombre y firma).

Profesor.....
(nombre y firma).

Profesor.....
(nombre y firma).

FECHA.....

Agradecimientos: A Alina, Camilo, Máximo y Pia.

Abreviaturas

Building Information Modeling: BIM

Caballos de Fuerza: HP

Cambio Climático: CC

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático: CMNUCC

Comisión Europea: CE

Economía Circular: EC

Economía Lineal: EL

Gases de efecto invernadero: GEI

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático: IPCC

Huella de Carbono: HC

Instituto Nacional de Estadística: INE

Kilowatts: KW

Kilowatts Hora: KWH

Objetivos de desarrollo: ODS

Organización Meteorológica Mundial: OMM

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos: OCDE

Organización Internacional del Trabajo: OIT

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: PNUMA

Residuos de Obras de Civil: ROC

TABLA DE CONTENIDO

1. <u>RESUMEN</u>	7
2. <u>INTRODUCCIÓN</u>	10
3. <u>METODOLOGÍA</u>	12
4. <u>MARCO TEÓRICO</u>	15
4.1. CAMBIO CLIMÁTICO	15
4.1.1 Impacto medioambiental de la actividad humana	15
4.1.2 El problema de los Gases de Efecto Invernadero	17
4.1.3 Crecimiento de las emisiones	18
4.1.4 Líneas de acción contra el Cambio Climático	20
4.1.5 La utilización de recursos naturales y desigualdad	23
4.2 EL MODELO LINEAL	25
4.2.1 El debate sobre la escasez de recursos	26
4.2.2 Linealidad, variabilidad y riesgos	30
4.2.3 Situación económica actual y perspectivas	33
4.2.4 De la linealidad a la circularidad	42
4.3 EL MODELO CIRCULAR	44
4.3.1 Antecedentes del concepto de Economía Circular	44
4.3.2 El Diagrama de la mariposa	45
4.3.3 El desafío del cambio de paradigma	46
4.3.4 Principios de Economía Circular	48
4.3.5 Metodología ReSOLVE	49
4.3.6 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)	53
4.3.7 Las Normas ISO (International Organization for Standardization) y la Economía Circular	57
4.4 EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN Y SU IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	61
4.4.1 Acercamiento del sector de la construcción a la Economía Circular	62
4.4.2 CONAMA 2018 y el GT-06	64
4.4.3 COMANA 2020 y el GT-15	67
4.4.4 Pacto Verde Europeo	70
4.4.5 Nuevo plan de acción de Economía Circular	70
4.4.6 Certificaciones de sostenibilidad en la edificación	75
4.4.6.1 MCI: Indicador de Circularidad de Materiales	74
4.4.6.2 Level(s): Un marco guía para informes de sostenibilidad de los edificios en Europa	76
4.4.6.3 BREEAM: Método de evaluación ambiental de los edificios	78
4.5 ANÁLISIS SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL URUGUAY	79
4.5.1 Gestión de los Residuos de Obra Civil (ROC) en Montevideo	84
4.5.2 Iniciativa y experiencias	88
4.5.3 Antecedentes de medición de sostenibilidad de obras de construcción en Uruguay	91
4.5.3.1 Modelo de Sustentabilidad Ambiental de la Vivienda	91

(SUAMVI)	
4.5.3.2 Diagnóstico de la Circularidad del Sector Construcción	93
(CCU)	
5. <u>ÍNDICE DE CIRCULARIDAD PROPUESTO</u>	95
5.1 ALCANCE	95
5.2 CATEGORÍAS E INDICADORES	96
5.2.1 Estrategia y planificación	96
5.2.2 Compromiso con la comunidad y medioambiente	98
5.2.3 Personas y competencias	98
5.2.4 Diseño de la obra	99
5.2.5 Flujo de entrada y salida de materiales	101
5.2.5.1 Flujo de entrada de materiales	102
5.2.5.2 Flujo de salida de materiales	105
5.2.6 Utilización de recursos	109
5.2.6.1 Circularidad del agua	109
5.2.6.2 Fuentes de energía	111
5.2.6.3 Utilización de suelo virgen	112
5.2.7 Servitización de equipos	113
5.2.8 Vida útil estimada	114
6. <u>CONCLUSIONES</u>	117
7. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	124
8.- <u>ANEXOS</u>	132

ÍNDICE DE DIAGRAMAS, CUADRO Y GRÁFICOS

DIAGRAMAS

1.- Objetivos de Desarrollo Sostenible	23
2.- Diagrama de la Mariposa	45
3.- Principios de Economía Circular	49
4.- ReSOLVE	53
5.- Procesos de Economía Circular	55
6.- Principales datos sobre el impacto del sector de la construcción al nivel Europeo y en España	63
7.- Economía Circular en el sector de la Construcción	65
8.- Esquema simplificado del proceso circular en el sector de la construcción	67
9.- Estructura y contenidos del Pacto Verde Europeo	70
10.- Nuevo plan de acción para la Economía Circular	72
11.- Prioridad de Levels	77

CUADROS

1.- Características de la Economía Lineal	32
2.- Características de la Economía Circular	55

GRÁFICOS

1.- Crecimiento de las Emisiones de GEI Mundiales	19
2.- Índice de Precio de Materias Primas	31
3.- Variación Anual del PBI Mundial	37
4.- Evolución del Precio Internacional del Petróleo	39
5.- Índice de Precios de Hierro y Acero	39
6.- Cotización del Aluminio	40
7.- Índice de Precios del Cemento y Productos Manufacturados de Concreto	40
8.- Precio del Polietileno	41
9.- Precio de Polipropileno y Caucho	41
10.- Crecimiento de la Población Mundial	43
11.- Inversión en construcción por sector institucional	82
12.- Valor de la producción de cemento portland por tonelada	83

1. RESUMEN

Existen evidencias cada vez más claras de la necesidad de un cambio del modelo económico-productivo actual, denominado como Economía Lineal, que sigue una lógica de extracción, producción, consumo y desecho. Este modelo es identificado como generador de una situación de deterioro medioambiental que avanza de manera acelerada, evidencia que el sistema actual es insostenible en el mediano plazo. Esto es señalado en numerosos informes publicados principalmente desde las Naciones Unidas y sus distintos programas, donde se destaca el avance de la degradación de la reserva natural del planeta, la alteración en la disponibilidad a los recursos y su inadecuada distribución, que provoca distorsiones en las ecuaciones económicas y en la evolución de los crecimientos globales.

Como respuesta a lo anterior, se plantea un modelo económico-productivo alternativo, la llamada Economía Circular con principios rectores y bases de funcionamiento de producción y consumo donde el desarrollo económico parte de Preservar y Aumentar el Capital Natural, Optimizar el Rendimiento de los Recursos y Promover la Efectividad del Sistema. Este concepto no es nuevo, fue evolucionando e incorporando aportes de distintos autores y es presentado en forma resumida y sistemática por la Fundación Ellen MacArthur.

Teniendo en cuenta el impacto medioambiental generado por el consumo de recursos naturales, energía y agua, el volumen de residuos generados en los procesos y considerando también el peso relativo que esta actividad económica representa en el Producto Bruto Interno, este trabajo se enfoca en el sector de la Construcción. Se analizan distintas iniciativas, programas y

metodologías relacionadas con el sector, a nivel internacional y local, con el objetivo de indagar en los avances existentes en materia de sostenibilidad y recuperación ambiental, en la gestión de los residuos de obra civil y en instrumentos de medición de circularidad.

La medición de la circularidad de una obra se basa en la necesidad de contar con información del estado de situación y su evolución para la aplicación de normativas ambientales, políticas de incentivos como exoneraciones tributarias o de uso para las empresas del sector en general, buscando ser otro aporte para impulsar la sostenibilidad en el sector. A nivel local, se analizan el Modelo SUAMVI presentado por Intendencia de Montevideo y la herramienta impulsada por la Cámara de la Construcción del Uruguay y la consultora Reacción que utiliza como base la metodología de medición de circularidad Circulytics de la Fundación Ellen MacArthur¹.

A partir de la definición de los principios de creación de valor en el marco de un sistema de Economía Circular, se presenta un nuevo Índice de Circularidad de aplicación en proyectos constructivos, considerando los avances y hallazgos incluidos en otras herramientas de medición precedentes. El Índice recoge el resultado de la medición de distintos Indicadores que lo conforman, enfocados en aspectos previos a la obra como la estrategia, la planificación, el diseño, la capacitación de personal y el involucramiento de las partes interesadas. Recoge mediciones en la etapa de ejecución, que se vinculan con el flujo de materiales, las fuentes de energía y el uso de recursos naturales. Este Índice pretende ser un instrumento que permita

¹ La Fundación Ellen MacArthur se lanzó en 2010 con el objetivo de acelerar la transición a la economía circular. Desde su creación, la organización benéfica se ha convertido en un líder de pensamiento global, poniendo la economía circular en la agenda de los tomadores de decisiones en todo el mundo. El trabajo de la organización benéfica se centra en siete claves áreas: conocimiento y análisis; negocio; instituciones; gobiernos y ciudades; iniciativas sistémicas; diseño circular; aprendizaje; y comunicaciones.

comparar distintos proyectos y detectar oportunidades de mejora a través del análisis de distintas mediciones.

Por último, se realiza la aplicación práctica en una obra civil, cuyo objetivo es la construcción de un silo para almacenamiento a granel de fertilizantes, exponiendo los resultados obtenidos.

2. INTRODUCCIÓN

Desde el siglo XIX las actividades humanas han sido el principal agente del Cambio Climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo o el gas, que generan emisiones de gas de efecto invernadero, atrapando el calor del sol y elevando la temperatura del planeta. Los gases que generan en mayor medida el efecto invernadero son: el Dióxido de Carbono, consecuencia de las actividades humanas como el transporte, la construcción, la industria, la generación de energía o la agricultura, y por otro lado, el Metano, que proviene por ejemplo de los vertederos de basura o de la ganadería.

El aumento de la temperatura es sólo el principio de la historia del cambio climático, según Fazio (2019) el principal desafío que enfrenta la humanidad en el siglo XXI es enfrentar el CC, no solo por los fenómenos climáticos extremos como olas de calor, incendios, sequías, inundaciones, deshielos o aumentos en el nivel del mar, sino por fenómenos físicos que sobrevendrán en un futuro cercano si la temperatura a fines de siglo supera los 2 grados Celsius, afirma que la causa principal se centra en el uso intensivo de combustibles fósiles producto de la generación de energía.

Desde la primera revolución industrial hasta la actualidad hemos desarrollado un sistema económico de producción y consumo siguiendo una secuencia de procesos sucesivos de extracción, producción, consumo y desecho. La problemática que se presenta y necesariamente se debe resolver, es cómo ejecutar un cambio profundo de este sistema de tipo lineal, que como

se presentará más adelante es predatorio y destructivo, por lo tanto, no es sostenible desde el punto de vista económico, ambiental o social.

Se evidencia una necesidad de cambio del paradigma productivo y de consumo de recursos naturales renovables y no renovables, de forma tal que se asegure el acceso a la cobertura de las necesidades básicas, para abastecer a una demanda de bienes y servicios que presiona debido al crecimiento sostenido de la población mundial.

La Economía Circular es una alternativa que busca redefinir qué es el crecimiento, con énfasis en los beneficios para toda la sociedad. Esto implica disociar la actividad económica del consumo de recursos finitos y eliminar los residuos del sistema desde el diseño, respaldada por una transición a fuentes renovables de energía, el Modelo Circular crea capital económico, natural y social basado en eliminar residuos y contaminación desde el diseño, mantener productos y materiales en uso y regenerar sistemas naturales (Fundación Ellen MacArthur, 2017)

Al menos desde el año 2012 en Europa, varias organizaciones han venido trabajando en la transición hacia una EC en el sector de la Construcción dada la influencia de esta industria en la economía, en el empleo, en el uso de recursos y energía y en la generación de residuos y gases de efecto invernadero.

3. METODOLOGÍA

El enfoque de este estudio es cualitativo y está basado en los métodos de la Teoría Fundamentada (Grounded Theory) para describir y analizar el fenómeno de la Economía Circular dentro del sector de la Construcción. Se realizó un análisis del cuerpo teórico, haciendo foco en publicaciones e investigaciones primero a nivel internacional y luego en el ámbito local, que permitió definir categorías específicas del tema Economía Circular, se aplicó un cuestionario a distintos involucrados en el área objeto de análisis, para luego pasar a la construcción de un Índice de medición como herramienta de aplicación concreta en una prueba piloto.

Esta metodología permite explorar el campo de la medición de circularidad en el sector de la construcción, que actualmente se encuentra carente de un fundamento teórico integrado y sólido. Hoy en día no se aplica un análisis sistemático por parte de profesionales, empresarios y académicos en materia de medición y análisis de circularidad en obras de construcción.

La metodología se basa en recopilar datos y luego sistematizarlos para crear conocimiento derivado de un tema de estudio, se proporcionan descripciones básicas del tema para realizar un ordenamiento conceptual de categorías centrales y relacionarlas. Posteriormente se inspeccionan los datos codificados para identificar propiedades y tendencias a través de un procedimiento analítico de comparación para producir una proposición.

Los enfoques basados en Grounded Theory recogen el conocimiento a partir de la recopilación de datos más que de la hipótesis inicial, por ello se llevó adelante una revisión y análisis de la bibliografía centrada en la temática de Economía Circular a nivel académico, mediante publicaciones de estudios realizados por organizaciones vinculadas, se procesó la información que brindan los distintos programas públicos y privados que participan ya sea con financiamiento o mediante asesoramiento técnico.

Luego del análisis teórico se logró definir la categoría Instrumento de Medición de Economía Circular en el sector de la construcción. Además de las publicaciones ya señaladas, se incorpora como instrumento de recolección de información una encuesta a distintos participantes del sector que desarrollan su actividad particularmente en la ciudad de Montevideo. En esta encuesta se distinguen dos cuestionarios, uno a nivel de planeamiento y diseño, y otro operativo a nivel de ejecución de obra. El objetivo es conocer el grado de avance de la aplicación de principios y acciones concretas de EC en el sector.

Se diseñó un nuevo índice de medición de circularidad adaptado a la realidad de las obras de construcción a nivel local, considerando la etapa de proyecto y la de ejecución, incorporando distintas variables consideradas determinantes para obtener un diagnóstico y evaluación acerca del grado de circularidad de las obras y arribar a recomendaciones a partir de los resultados obtenidos.

El proceso de recopilación de información, de definición y análisis de categorías centrales permitió plantear una pregunta de investigación: ¿Hasta qué punto los actuales instrumentos de medición de EC son funcionales en el sector de la construcción? A partir de la cual se plantean las siguientes hipótesis:

Hipótesis A

H1: Existe una relación significativa entre el desarrollo de los instrumentos de medición y la expansión de la EC.

H0: No existe una relación entre instrumentos de medición y expansión de la EC

Hipótesis B

H1: Los instrumentos actuales incorporan las variables suficientes para evaluar la circularidad en una obra de construcción.

H0: No incorporan las variables necesarias para medir circularidad.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 CAMBIO CLIMÁTICO.

4.1.1 Impacto medioambiental de la actividad humana

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y a la publicación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022) este proceso se entiende como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

Se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y de los patrones climáticos, por ejemplo, a través de las variaciones del ciclo solar o de la radiación, variaciones de los parámetros orbitales de la tierra, por movimientos de la corteza terrestre o por la actividad volcánica. Existe el llamado Efecto Invernadero que si bien tiene una connotación negativa, es un proceso natural que permite a la Tierra mantener las condiciones necesarias para albergar vida, ya que la atmósfera retiene parte del calor del Sol, sin él la temperatura media del planeta sería de 18°C bajo cero.

La atmósfera está compuesta por diversos gases que en la proporción adecuada cumplen su cometido. El desequilibrio surge cuando las actividades del ser humano aumentan la emisión de Gases de Efecto Invernadero y se retiene más calor del necesario, provocando que la temperatura media del planeta aumente excesivamente y se produzca el efecto llamado

Calentamiento Global, que provoca desequilibrios en los distintos ecosistemas, con consecuencias graves para el desarrollo de la vida.

La Tierra es un sistema compuesto por subsistemas interconectados e interdependientes, esto hace que un desequilibrio necesariamente desencadena otra serie de consecuencias, como lo indica el IPCC, la tasa de subida del nivel del mar mostró un crecimiento de 5 mm al año en el quinquenio 2014 -2019, debido al deshielo de los polos, a la que le siguen otras como, las sequías intensas y escasez de agua dulce, incendios o inundaciones en diversos puntos del planeta, tormentas con vientos muy intensos y la disminución de la biodiversidad afectada por los cambios bruscos en las condiciones de vida.

El CC es un problema global que alcanza una perspectiva ambiental, política, económica y social, en la que las peores previsiones también implican pérdidas económicas. Esto se analiza en distintos niveles de acuerdo a los principales sistemas, ya sean físicos, biológicos y humanos, entre otros.

En primer lugar, los Sistemas Físicos del planeta se ven representados en el deshielo de los polos, que a su vez causa la regresión de glaciares, el derretimiento de nieve, el calentamiento y deshielo del Permafrost², inundaciones por desbordes de ríos y lagos o sequías, erosión costera, subida del nivel del mar y otros fenómenos extremos como incendios forestales y contaminación del aire.

² El Permafrost es la capa de suelo bajo la superficie de la Tierra que ha permanecido congelada ininterrumpidamente durante al menos dos años consecutivos y, en la mayoría de los casos, durante cientos o miles de años. Se extiende por una cuarta parte del hemisferio norte, incluyendo muchas regiones que no están cubiertas de nieve.

En los Sistemas Biológicos se produce muerte de flora y fauna en los ecosistemas terrestres y marinos. También, se provocan incendios forestales y desplazamiento de flora y fauna en busca de lugares que ofrezcan una mayor garantía de supervivencia.

Por último, en los Sistemas Humanos se da la afectación y destrucción en la cosecha y producción de alimentos, enfermedades y muertes. También hay destrucción y perjuicio de medios económicos de subsistencia y migraciones de refugiados climáticos.

Se señala en el estudio de IPCC (2022) que el aumento de olas de calor, sequías e inundaciones ya ha superado los umbrales de tolerancia de las plantas y los animales y ha provocado la mortalidad en masa de diversas especies, como árboles y corales. Estos fenómenos meteorológicos extremos se producen de manera simultánea, lo cual genera impactos en cascada cada vez más difíciles de controlar. Debido a estos fenómenos, millones de personas han quedado expuestas a una situación de inseguridad alimentaria e hídrica, especialmente en África, Asia, América Central y del Sur, así como en islas pequeñas y el Ártico.

4.1.2 El problema de los Gases de Efecto Invernadero

De acuerdo al informe de OMM en 2021, la fracción de las emisiones que permanecen en la atmósfera, denominada Fracción Atmosférica, es un importante indicador del equilibrio entre fuentes y sumideros, solo el 42 % de las emisiones de CO₂ fruto de la actividad humana permanece en la atmósfera. Los sumideros terrestres y oceánicos de CO₂ han seguido aumentando proporcionalmente al incremento de las emisiones. Los cambios en la Fracción

Atmosférica conllevarán importantes implicaciones para la consecución del objetivo del Acuerdo de París de mantener el calentamiento global muy por debajo de 2° C, y requerirán la aplicación de ajustes en la magnitud de los compromisos asumidos en materia de reducción de emisiones y en el calendario previsto para su cumplimiento.

Aproximadamente la mitad del dióxido de carbono (CO₂) emitido actualmente a raíz de las actividades humanas permanece en la atmósfera, mientras que océanos y ecosistemas terrestres absorben el resto.

Existen excesivas concentraciones de gases, las que además se encuentran en su nivel más elevado en 2 millones de años y están en aumento, estas tienen como resultado el incremento de la temperatura de la Tierra, que es ahora 1,1 °C más elevada que a finales del siglo XIX. Siendo la última década, del 2011 al 2020, la más cálida registrada en la historia.

4.1.3 Crecimiento de las Emisiones

Según un análisis reciente de los datos recabados mediante la red de observación de la Organización Meteorológica Mundial, los promedios mundiales del dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) alcanzaron nuevos niveles máximos en 2020. El aumento en la concentración de CO₂ de 2019 a 2020 fue ligeramente inferior al observado entre 2018 y 2019, pero mayor a la tasa de aumento medio anual del último decenio. Este incremento se produjo a pesar de que en 2020, las emisiones de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles disminuyeron aproximadamente un 5,6 % debido a las restricciones impuestas por la pandemia de la enfermedad por Coronavirus (COVID-19). En el caso del CH₄,

el aumento de 2019 a 2020 fue superior al observado entre 2018 y 2019, y también fue mayor a la tasa de incremento medio anual del decenio anterior. En el caso del N₂O, el aumento de 2019 a 2020 fue superior al registrado entre 2018 y 2019, y también fue mayor a la tasa de incremento medio anual de los últimos diez años. El índice anual de gases de efecto invernadero (AGGI) de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) muestra que, entre 1990 y 2020, el forzamiento radiactivo debido a los GEI de larga vida aumentó en un 47 %, y el CO₂ contribuyó a ese aumento en casi un 80 % (OMM, 2021).

Gráfico 1. Crecimiento de las Emisiones de GEI Mundiales



Fuente: Banco Mundial

La acción climática requiere importantes inversiones financieras por parte de gobiernos y empresas. Pero la inacción climática es mucho más cara, un paso fundamental es que los países industrializados cumplan los compromisos asumidos en la Conferencia del Clima de

Copenhague en 2009, por ejemplo, el compromiso de aportar 100.000 millones de dólares anuales a los países llamados en desarrollo para que puedan adaptarse y avanzar hacia economías más ecológicas.

A fin de lograr un combate del Cambio Climático, la ONU se apoya en 3 instrumentos jurídicos, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992, el Protocolo de Kyoto 1995 y el Acuerdo de París de 2015.

4.1.4 Líneas de acción contra el Cambio Climático

A fin de evitar una mayor pérdida de vidas, biodiversidad e infraestructura, es preciso tomar medidas ambiciosas de adaptación al cambio climático y a la vez lograr reducciones rápidas y pronunciadas de las emisiones de GEI. De acuerdo a los datos del informe de la IPCC 2022, los avances en materia de adaptación son dispares, y las brechas entre las medidas adoptadas y lo que se necesita para hacer frente a los riesgos crecientes son cada vez más profundas. Estas brechas son mayores entre las poblaciones de menores ingresos.

En este informe se brindan nuevas ideas sobre las posibilidades que la naturaleza ofrece para reducir los riesgos climáticos y, al mismo tiempo, mejorar la vida de las personas. “Los ecosistemas sanos son más resilientes al cambio climático y prestan servicios indispensables para la vida, como el suministro de alimentos y agua limpia”, aseveró Hans-Otto Pörtner, Copresidente del Grupo de Trabajo II del IPCC, y además indica que “Al restaurar los ecosistemas degradados y conservar, con eficacia y equidad, entre el 30 % y el 50 % de los hábitats terrestres, marinos y de agua dulce, la sociedad puede beneficiarse de la capacidad de

la naturaleza para absorber y almacenar carbono, y podemos acelerar los avances en la consecución del desarrollo sostenible, pero es fundamental contar con el apoyo financiero y político adecuado”.

La adaptación a las consecuencias del clima protege a las personas, los hogares, las empresas, los medios de subsistencia, las infraestructuras y los ecosistemas naturales. Abarca los impactos actuales y los probables en el futuro. La adaptación será necesaria en todas partes, pero debe darse prioridad ahora a las personas más vulnerables y con menos recursos para hacer frente a los riesgos climáticos.

El sistema de las Naciones Unidas está a la vanguardia de los esfuerzos para salvar nuestro planeta. En 1992 la Cumbre para la Tierra dio lugar a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como primer paso para afrontar este enorme problema. Actualmente un total de 197 países han ratificado la Convención, cuyo objetivo final es prevenir una interferencia humana “peligrosa” en el sistema climático.

En 1995 la comunidad internacional inició negociaciones para fortalecer la respuesta mundial al cambio climático. Dos años después, en 1997, 83 países firmaron y 46 ratificaron el Protocolo de Kyoto, hoy son 192 países. Esto obliga jurídicamente a los países desarrollados que son parte a cumplir unas metas de reducción de emisiones. El primer período de compromiso del Protocolo comenzó en 2008 y finalizó en 2012. El segundo período de compromiso empezó el 1 de enero de 2013 y terminó en 2020.

En la 21ª Conferencia en París de 2015, las partes de la CMNUCC alcanzaron un acuerdo histórico con el objetivo de combatir el cambio climático y acelerar e intensificar las acciones y las inversiones necesarias para un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono.

El Acuerdo de París agrupa a todas las naciones del mundo por primera vez en la historia, bajo una causa común: “Realizar ambiciosos esfuerzos con el objetivo de combatir el cambio climático y adaptarse a sus efectos”.

El 23 de septiembre de 2019, el Secretario General António Guterres convocó a los Estados Miembros a participar en la Cumbre sobre la Acción Climática. Fue un importante evento que reunió a líderes mundiales, del sector privado y la sociedad civil. La finalidad de esta reunión fue la de respaldar, incrementar y acelerar el proceso multilateral en la acción climática.

Se exhortó a la responsabilidad social de los países miembros para lograr una sustentabilidad y sostenibilidad apoyados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) vertidos en la Agenda 2030, según Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 estados miembros que la suscribieron, y es la guía de referencia para el trabajo de la comunidad internacional hasta el año 2030. A través 17 ODS con sus 169 metas y 231 indicadores, se determina el eje central para guiar el desarrollo sostenible que integra la dimensión económica, la social y la medioambiental.

Para la ONU, la Agenda 2030 proporciona una visión transformadora para un desarrollo sostenible centrado en las personas y el planeta, basado en los derechos humanos y en la dignidad de las personas. Constituirán un apoyo para cada país en su senda hacia un desarrollo sostenido, inclusivo y en armonía con el medio ambiente, a través de políticas públicas e instrumentos de planificación, presupuesto, monitoreo y evaluación.

Diagrama 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible



Fuente: Naciones Unidas

4.1.5 La utilización de recursos naturales y desigualdad

El CC es uno de los procesos globales más gravitantes que enfrenta la humanidad, consecuencia en gran medida, del modelo de desarrollo centrado en el crecimiento económico, sin tener en consideración que implica un consumo depredatorio de recursos naturales, o la contaminación

del ambiente para la producción de mercancías, cuyo propósito es la conservación y aumento de la dominación de una parte cada vez menor de la sociedad sobre una parte cada vez mayor de esta (Rodríguez et al, 2019).

Este proceso vincula el consumo no sostenible de los recursos naturales con las desigualdades sociales, como afirma Fazio (2019), las consecuencias las experimentarán con mayor gravedad las sociedades menos desarrolladas y las poblaciones más vulnerables, profundizando la grieta, aun cuando hayan tenido un aporte mínimo al problema.

Las ciudades son puntos críticos de impactos y riesgos. La salud, la vida y los medios de subsistencia de las personas, al igual que los bienes y las infraestructuras esenciales, incluidos los sistemas de energía y de transporte, se ven cada vez más perjudicados por los peligros derivados de las olas de calor, las tormentas, las sequías y las inundaciones, así como por los cambios de evolución lenta, por ejemplo, el aumento del nivel del mar. La creciente urbanización y el cambio climático en conjunto, crean riesgos complejos, especialmente en aquellas ciudades que ya tienen un crecimiento urbano mal planificado, altos niveles de pobreza, desempleo y falta de acceso a servicios básicos. (IPCC, 2022)

De esta forma se presenta el escenario en materia medioambiental, con un notorio agotamiento de recursos naturales y deterioro de los ecosistemas, con crecientes niveles de contaminación que afecta la vida en el planeta. Si bien se presentan iniciativas a nivel global mediante compromisos de los países más industrializados y por ende los mayores consumidores de

recursos y emisores de desechos, resultan insuficientes las acciones emprendidas, con objetivos ambiciosos que hasta el momento no se han cumplido enteramente.

Debemos analizar la forma en que estamos gestionando nuestros recursos naturales para permitir regenerar los ecosistemas dañados, no solo se trata de reducir el impacto, ya no hay tiempo, debemos regenerar el capital natural del planeta.

4.2 EL MODELO LINEAL

La economía global ha estado dominada por un modelo lineal de producción y consumo, sin los suficientes circuitos de interconexión entre materias primas, bienes producidos y residuos generados, con una visión económica, que no permite captar adecuadamente la dimensión ambiental y las funciones del entorno como suministrador de recursos, soporte físico y receptor final de desechos producidos. Se plantea una inconsistencia entre la dinámica de flujos de materiales y energéticos y la propia lógica del mundo viviente (Herrero et al. 2020).

Como se indica en el Panel Internacional de Recursos en 2016 dentro del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la extracción mundial de materiales se triplicó en cuatro décadas, se agudiza el proceso de cambio climático, mediante el proceso de calentamiento global y la contaminación atmosférica. La cantidad de materias primas extraídas de la Tierra aumentó desde 22 mil millones de toneladas en 1970 a 70 mil millones de toneladas en 2010. Los países más ricos, desarrollados e industrializados del mundo consumen en

promedio 10 veces más materiales que los más pobres, que a su vez son los más vulnerables y expuestos a las externalidades negativas del cambio climático.

Si el mundo continúa proporcionando vivienda, movilidad, alimentación, energía y agua de la misma manera que en la actualidad, se estima que entre los años 2030 y 2040, habrá de 2 a 3 billones de consumidores de clase media, por lo que se proyecta una tendencia al alza. Para el año 2050 los nueve mil millones de personas del planeta necesitarán 180 mil millones de toneladas de materiales cada año para satisfacer la demanda. Esto equivale a casi tres veces la cantidad actual y probablemente elevará la acidificación y la eutrofización de los suelos y aguas de todo el mundo, aumentará la erosión del terreno y producirá mayores cantidades de residuos y contaminación. (PNUMA, 2016)

4.2.1 El debate sobre la escasez de recursos

Para la ONU Medio Ambiente, la industria extractiva de petróleo, gas y de metales impulsa el crecimiento económico en todo el mundo. Pero esto tiene sus costos y amenazas para la salud humana y el medio ambiente en general, ya sean emisiones de GEI, contaminación y pérdida de biodiversidad. Las actividades extractivas también pueden alimentar conflictos y amenazar los derechos humanos si no se cumplen determinadas salvaguardias o si se gestionan de forma deficiente. El mundo depende en gran medida de la explotación de los recursos naturales para abastecer una demanda en aumento.

La extracción de minerales juega un papel dominante en las economías de 81 países, que representan una cuarta parte del PIB mundial y la mitad de la población mundial e involucra

casi el 70 por ciento de la población que vive en la pobreza extrema. El sector minero formal emplea a más de 3,7 millones de trabajadores. Hasta 100 millones de personas viven de la minería artesanal. En el sector informal, se estima que entre 10 y 15 millones de mineros se dedican a la extracción de oro artesanal en más de 70 países, generando aproximadamente 1.600 toneladas por año de emisiones y liberaciones de mercurio al medio ambiente.

De acuerdo a lo que establece la ONU Medio Ambiente, la arena es el segundo recurso más explotado del mundo y debe gestionarse con prudencia. Se trata de un material formado por rocas y minerales fundamentales para el desarrollo económico, ya que es necesaria para producir hormigón y construir infraestructuras vitales. Pero la arena también desempeña una función vital para la biodiversidad; actúa como sumidero de carbono y filtra el agua. Este recurso es crucial para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible y hacer frente a la triple crisis planetaria del cambio climático, la contaminación y la pérdida de biodiversidad. Sin embargo, se está utilizando más rápido de lo que se puede reponer de forma natural, es necesario emprender una gestión responsable.

A consecuencia de la resolución sobre la gobernanza de los recursos minerales adoptada en la cuarta Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ANUMA), en la que se pedían medidas para la gestión sostenible de la arena, se realizó el informe “Arena y sostenibilidad: 10 recomendaciones estratégicas para evitar una crisis”. La arena debe ser reconocida como un recurso estratégico por sus múltiples funciones en el medio ambiente y no sólo como material para la construcción. Los gobiernos, las industrias y los consumidores deben fijar un precio para la arena que reconozca su verdadero valor social y medioambiental.

Paradójicamente las mismas tecnologías limpias, pero altamente dependientes de minerales y metales, son importantes para combatir el cambio climático, por lo que la gestión ambientalmente sostenible de minerales y metales es clave. El uso y aplicación de las nuevas tecnologías verdes ha aumentado significativamente el consumo y extracción de minerales como el cobre, cobalto, aluminio y el zinc y el mismo impulso de cambio en las matrices energéticas generará una demanda creciente de este tipo de recursos.

Una de las posturas dentro del debate sobre la estimación de reservas minerales y el agotamiento de las mismas, afirma que es improbable el agotamiento de los recursos minerales como parte no renovable, esta situación podría llegar a darse pero en el largo plazo, por lo tanto también son erróneas las fechas estimadas que se manejan para el agotamiento.

En cambio, se plantea que en el corto plazo el efecto de la suba de precios incentivaría a los productores a continuar invirtiendo en exploración o en tecnologías mineras y metalúrgicas más eficientes. Desde el lado de la demanda, los adelantos en el reciclado o la aparición de sustitutos contribuirán también al alejamiento del escenario de escasez, por lo que se podrá hablar de agotamiento de una explotación, de una tipología de mineral pero no de la desaparición de un mineral.

En un estudio realizado por De La Torre (2018), se plantea un escenario de descubrimientos minerales a nivel de lecho marino o incluso avances en materia de geología que nos alejaría nuevamente del escenario de escasez ahora desde la oferta.

Se deben evaluar los costos de las extracciones, ya sean los económicos, ambientales o sociales, de forma de justificar sólidamente, un cambio hacia la circularidad, debido a que mucho antes que el agotamiento, la curva de costos entrará en un segmento ascendente producto de la continua disminución del mineral.

Los proyectos de extracción dejarán de ser viables, si los analizamos desde un punto de vista del costo de oportunidad, asumiendo que los costos de extracción irán en aumento, llegará un momento antes del agotamiento que el recurso mineral no será explotado. Esto sucederá a pesar que la tecnología también ejercerá cierta presión a la baja sobre los costos que permitirá indirectamente el alejamiento de la escasez mediante la innovación en la exploración, la explotación y la adaptación al aprovechamiento de minerales de diferente composición.

Siguiendo esta línea y desde un punto de vista geológico, Fontboté (2019) cuestiona la escasez de recursos minerales, manifiesta que es falsa la afirmación de que se agotaran en unas pocas décadas, debido a la confusión entre las nociones de reservas y recursos. Los recursos globales son mucho más grandes que las reservas y el conocimiento geológico no apoya la posibilidad de un agotamiento físico ni siquiera a largo plazo, aun así se debe continuar implementando métodos para minimizar el impacto ambiental y social de la exploración y explotación de los recursos minerales.

En general existe consenso en el impacto medioambiental por la extracción de minerales, por lo que se requiere tomar consciencia de la adecuada utilización de los recursos, esto comulga

plenamente con los principios de circularidad. Desde la otra postura en este debate, Valero y Valero (2021) indican que muchos minerales han podido superar ya su pico de extracción y si seguimos con este consumo desaforado e irreversible de materias primas no se podrá garantizar a la civilización actual más allá de un siglo de vida más o menos dependiendo de los materiales que se consideren. Por ejemplo, cada 25 años se duplica la extracción de cobre; por lo tanto, más tarde o más temprano vamos a notar esa escasez.

Existen elementos no frecuentes en la naturaleza necesarios para el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas al ámbito de las telecomunicaciones o generación de energía entre otras, además están concentrados en muy pocos países, así todo el mundo depende de estos países y de lo que produzcan esos pocos yacimientos. En el caso de la energía fotovoltaica, los nuevos modelos que han conseguido eficiencias más elevadas o mejores prestaciones que las del silicio, requieren además de cobre y plata, indio galio, selenio, telurio y cadmio.

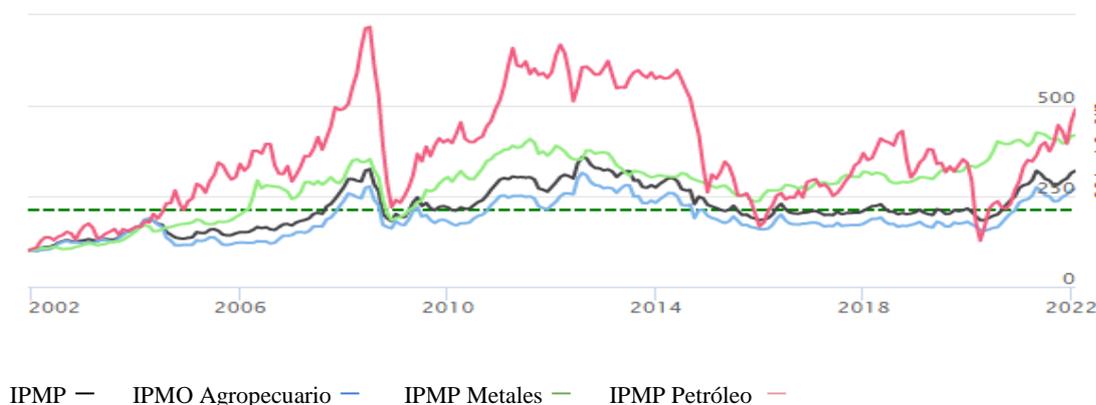
No es asumible que la economía va a seguir creciendo al 2% anual, porque no hay recursos suficientes para sostener la demanda. Los autores plantean que para mantener esa tasa de crecimiento exponencial se duplica la tasa de destrucción planetaria cada 25 o 30 años, llevando al límite la reposición natural de los ecosistemas. Si la descarbonización nos aboca a fomentar la energía renovable y estas hacen un uso desproporcionado de materiales, la salida es reducir y consumir menos, y aquello que consumamos debe ser reutilizado tantas veces como sea posible.

4.2.2 Linealidad, variabilidad y riesgos

El modelo económico actual, que se define dentro de los parámetros de la linealidad, es esencialmente agresivo con el medio y su aplicación es depredatoria, como ya se mencionó, esto concluye en una reducción significativa del capital natural. Es altamente dependiente de las materias primas y además es ineficiente a la hora de controlar el riesgo asociado al suministro, producto de no otorgar una solución en cuanto al futuro abastecimiento necesario para la producción y el posterior consumo.

Esto se ve reflejado en los mercados, por ejemplo, a través de la volatilidad de los precios con tendencias alcistas de los distintos commodities en los últimos años, como nos muestra la evolución del Índice de Precios de las Materias Primas (IPMP) del Banco Central de Argentina. Allí se consideran los precios de los productos básicos agropecuarios (maíz, trigo, porotos de soja, pellets de soja, aceite de soja, cebada, carne bovina), petróleo (crudo) y metales (oro, cobre, aluminio primario y acero), ponderados según su participación en las exportaciones totales. Se utiliza un índice, cuya base es diciembre de 2001 (igual a 100), gráficamente se aprecia la variabilidad de las distintas categorías de recursos.

Gráfica 2. Índice de Precios de Materias Primas



Se hace por lo tanto necesario iniciar una senda de transición, para pasar de la Economía Lineal a la EC (Cerdá y Khalilova, 2015), dejar de lado el principio rector de “tomar, hacer, tirar” del modelo lineal, basado en la facilidad de obtención de cantidades enormes de recursos naturales (materiales y energía para procesarlos). Las condiciones indispensables de obtención de materias primas a un precio asequible y en cantidades tales que permitan el desarrollo de un sistema sustentable en el mediano plazo, se está viendo seriamente comprometida en los últimos tiempos.

Reafirman lo anterior Herrero et al. (2020), e indican que el proceso lineal es agresivo con el ambiente y esquilador de las fuentes de suministro y de los sumideros naturales, además de ser económicamente ineficiente y despilfarrador, porque se basa en la supuesta disponibilidad de grandes cantidades de energía, recursos naturales baratos y de fácil acceso.

Cuadro 1. Características de la Economía Lineal

Modelo de consumo rápido, cultura de uso y tire mediante ciclos de extracción, producción y desecho.
Provoca mayores pérdidas económicas para las empresas por la volatilidad de las materias primas y productos.
Deteriora los recursos naturales.
Se sustenta en la generación de Economías a Escala, que produce una mayor demanda de recursos.

Mayores riesgos de interrupciones de suministro adecuado de materias primas.
Exige mayores normativas regulatorias lo que provoca distorsiones en el mercado.
Costos económicos elevados como consecuencia de la gestión y el tratamiento de residuos.
Costos económicos asociados a procesos de extracción de recursos no renovables.
Mayor posibilidad de generar monopolios asociados al control de recursos no renovables.
El diseño se basa en principios económicos que no tienen en cuenta el impacto ambiental.
El concepto de utilidad y costos es principalmente económico.

4.2.3 Situación Económica actual y Perspectivas

Los hechos recientes como el estallido de la guerra en Ucrania están provocando una profundización en las variaciones de precios de granos, minerales y energéticos, generando enormes distorsiones, presionando al alza, acelerando la inflación a nivel mundial y particularmente en economías donde no existía este problema, como los EE.UU y Europa, lo que conlleva a condiciones financieras más restrictivas de forma de frenar esta situación, por ejemplo, mediante la subas en las tasas de interés como herramienta de política monetaria, a esta situación se le suma las consecuencias de los efectos provocados por la pandemia de COVID-19.

Se ha profundizado la desaceleración de la economía mundial, fenómeno que ya se venía observando en los últimos 20 años, según el informe de perspectivas del Banco Mundial de 2022 se estaría entrando en lo que podría convertirse en un período prolongado de escaso

crecimiento y elevada inflación, según el último informe Perspectivas Económicas Mundiales de junio 2022, se aumenta el riesgo de estanflación, con consecuencias potencialmente perjudiciales tanto para las economías de ingreso mediano como para las de ingreso bajo.

Se estima que el crecimiento del PBI Mundial descienda del 5,7 % en 2021 al 2,9 % en 2022, y que oscile en torno a ese ritmo durante el período 2023-24, fundamentalmente debido a las consecuencias del enfrentamiento bélico, que repercute en la inversión y el comercio en el corto plazo; se estima que la demanda reprimida se disipe y se vayan eliminando las políticas monetarias y fiscales acomodaticias. Como resultado el nivel de ingreso per cápita de las economías en desarrollo se ubicará casi un 5 % por debajo de su tendencia previa a la pandemia.

“La guerra en Ucrania, los confinamientos en China, los trastornos de la cadena de suministro y el riesgo de estanflación afectan el crecimiento. Para muchos países, será difícil evitar la recesión”, afirmó el presidente del Grupo Banco Mundial, David Malpass. “Los mercados están expectantes, por lo que es urgente fomentar la producción y evitar las restricciones comerciales. Se requieren cambios en las políticas fiscales, monetarias, climáticas y de endeudamiento para contrarrestar la asignación inadecuada de capital y la desigualdad”.

La guerra en Ucrania provocó un alza en los precios en diversos productos básicos relacionados con la energía. Los precios más altos de la energía reducirán los ingresos reales, aumentarán los costos de producción, restringirán la situación financiera y limitarán la política macroeconómica, especialmente en los países importadores de energía.

Más allá de la situación actual, se recogen a lo largo de las últimas décadas, otros eventos a nivel local y mundial que tienen efecto directo sobre la evolución del PBI, por ejemplo la crisis financiera del 2008 originada por la especulación inmobiliaria en EE.UU años antes, que luego se extendió al sistema económico mundial, por las llamadas “Hipotecas Subprime” un esquema bajo el que se concedieron miles de créditos a personas que carecían de la solvencia para afrontar los pagos de los mismos, lo cual generó un alto nivel de deudas de mala calidad, que los bancos agruparon en productos financieros sintéticos, de manera que podían ser comercializados como inversiones de bajo riesgo, a pesar que los subyacentes eran de menor calidad. (Perojo, 2018), generando una crisis de liquidez llevando a la quiebra y rescate de empresas, bancos e incluso países, como España, Islandia, Irlanda, Grecia, Portugal, Austria y Hungría.

De acuerdo al Banco Mundial las actuales circunstancias económicas mundiales se comparan con la estanflación de la década de 1970, con especial énfasis en la forma en que la situación podría afectar los mercados emergentes y las economías en desarrollo. La recuperación de la estanflación que se registró en los años setenta exigió fuertes aumentos en las tasas de interés en las principales economías avanzadas, lo que contribuyó en gran medida a desencadenar una serie de crisis financieras en los mercados emergentes y las economías en desarrollo, por el encarecimiento de los créditos internacionales y las oportunidades de inversión alternativas.

Se prevé que la inflación mundial será moderada el próximo año, pero probablemente seguirá estando por encima de las metas de inflación en muchas economías. En el informe se observa que, si la inflación continúa siendo elevada, una repetición de la resolución del anterior episodio

de estanflación podría traducirse en una marcada desaceleración mundial, acompañada de crisis financieras en algunos mercados emergentes y economías en desarrollo.

Entre los mercados emergentes y las economías en desarrollo, también se prevé una caída del crecimiento del 6,6 % en 2021 al 3,4 % en 2022, muy por debajo del promedio anual del 4,8 % durante el período comprendido entre 2011 y 2019. Los efectos secundarios negativos de la guerra neutralizarán considerablemente cualquier estímulo de corto plazo para algunos exportadores de productos básicos derivado de los precios elevados de los energéticos.

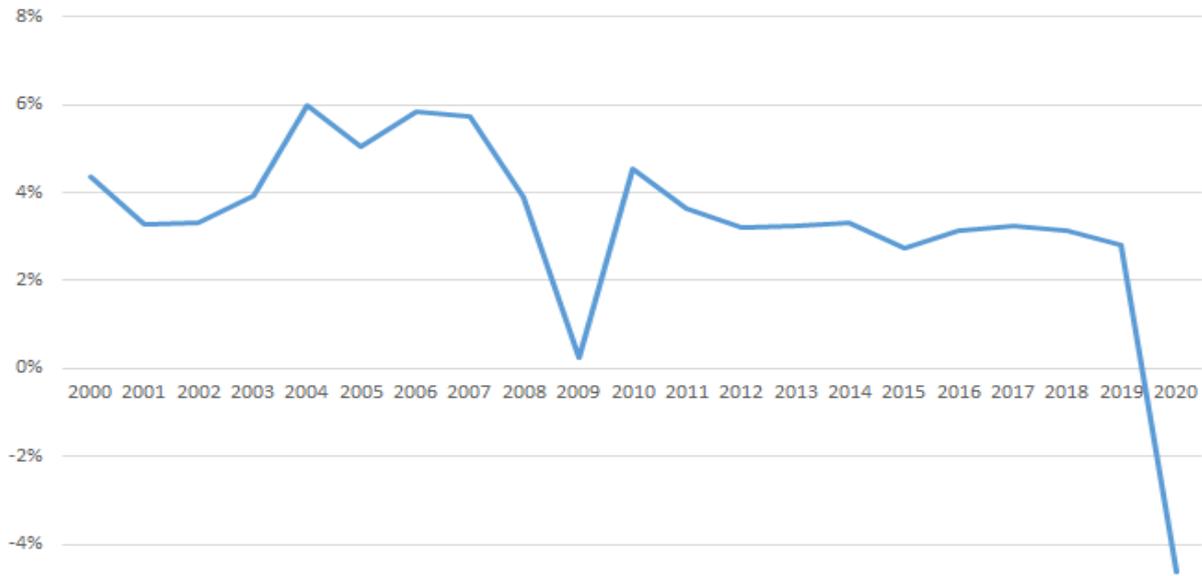
En el informe se destaca la necesidad de tomar medidas de política decisivas a nivel nacional y mundial para evitar que la guerra en Ucrania provoque peores consecuencias para la economía mundial. Esto incluirá esfuerzos globales para limitar los daños provocados a quienes se hayan visto afectados por la guerra, amortiguar el impacto del alza en los precios del petróleo y los alimentos y agilizar el alivio de la deuda.

La situación se resume en un contexto complejo de una mayor inflación, un menor crecimiento, una situación financiera más restrictiva y un limitado espacio para la política fiscal. Los gobiernos deberán redefinir la prioridad de los gastos para orientarlos a brindar apoyo específico a las poblaciones vulnerables.

Lo anterior se puede visualizar en el magro crecimiento del PBI mundial, de acuerdo a Kose et al. (2019), muestran que para las economías avanzadas las proyecciones de crecimiento de largo plazo se empezaron a reducir desde principios de los años 90, aunque para las economías

emergentes las proyecciones de crecimiento de largo plazo muestran crecimientos durante los años 90 y los 2000. Sin embargo, después de la crisis internacional que empezó en 2008, las proyecciones de crecimiento se deterioraron tanto para países desarrollados como para países emergentes.

Gráfica 3. Variación Anual del PBI Mundial



Fuente: Banco Mundial

De lo anterior se puede inferir cómo la alta dependencia a los recursos y su dispar acceso a nivel planetario hace que las variaciones de disponibilidad y de precios de los productos, ya sea por una guerra o una pandemia, repercutan en distinto grado en la economía mundial.

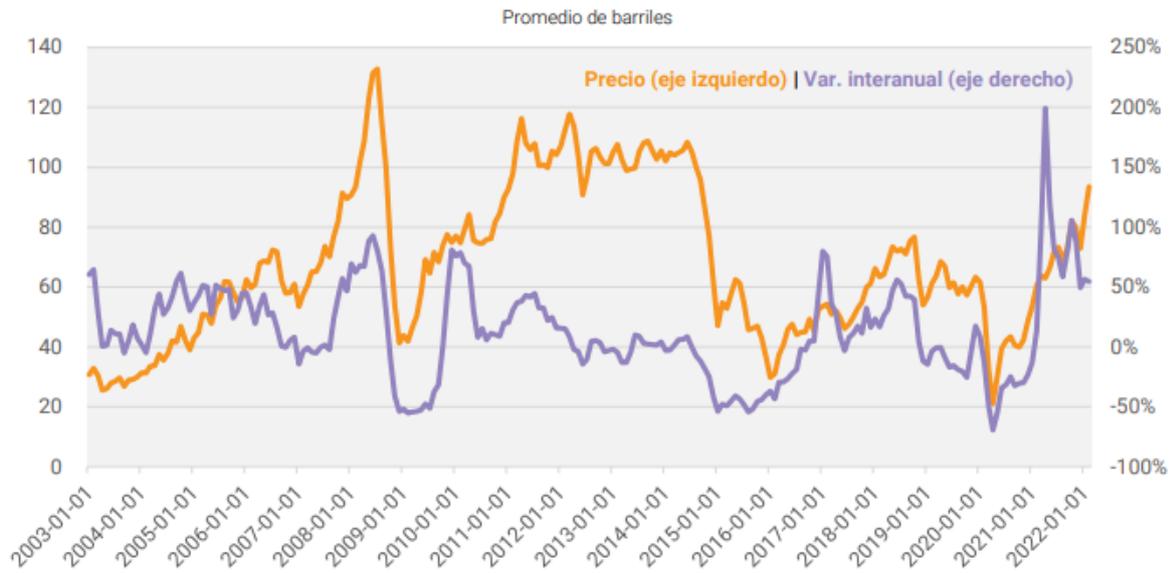
Los principios de la Economía Circular plantean que mediante una gestión distinta de los recursos, con un enfoque sustentable y con mayor accesibilidad exista la posibilidad de evitar

la dependencia extrema tal como la conocemos. Los energéticos y los minerales son un claro ejemplo, se puede concluir que sobran fundamentos para plantear otras alternativas que permitan una mayor amplitud en el acceso a los recursos a partir de su reutilización o por medio de fuentes alternativas, evitando variaciones bruscas de precios ya sea por escasez o por su disponibilidad logística.

Iglesia (2020) plantea la obsolescencia del modelo de economía lineal sustentado en dos pilares. Por un lado, las materias primas han experimentado variaciones en sus precios de forma inversa al crecimiento de las naciones, aspecto que suponía un abaratamiento sistemático en la cadena de producción de las compañías. Mientras que por otro lado, no se ha puesto un adecuado énfasis en el problema del sostenimiento de un modelo que se nutre de recursos limitados. Ambos pilares se han visto sacudidos desde dos perspectivas distintas. Desde una óptica puramente económica es notoria la alteración que las materias primas han sufrido en sus precios desde el año 2000, lo cual ha ocasionado que la alternativa lineal como modelo de creación de valor deje de ser tan económicamente apetecible como lo era antes.

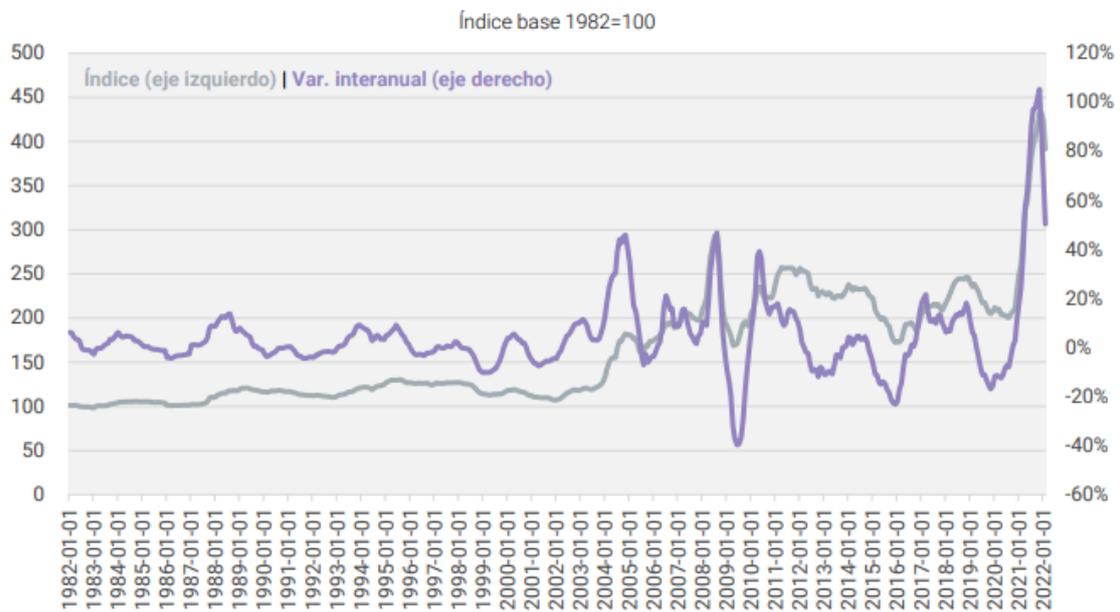
Se expone la evolución de precios de varios commodities, a lo largo de unos 20 años, donde además de observar un aumento generalizado, se aprecia una enorme variabilidad que luego generará grandes distorsiones en las distintas industrias, ya sea vía el consumo de materias primas o mediante el consumo de recursos energéticos. Se puede tomar como ejemplos, los siguientes casos:

Gráfica 4. Evolución del Precio Internacional del Petróleo



Fuente: CEP-XXI con base en Banco Mundial al 30 de marzo de 2022

Gráfica 5. Índice de Precios de Hierro y Acero



Fuente: CEP-XXI con base en Banco de St Louis, Reserva Federal de Estados Unidos

Gráfico 6. Cotización del Aluminio

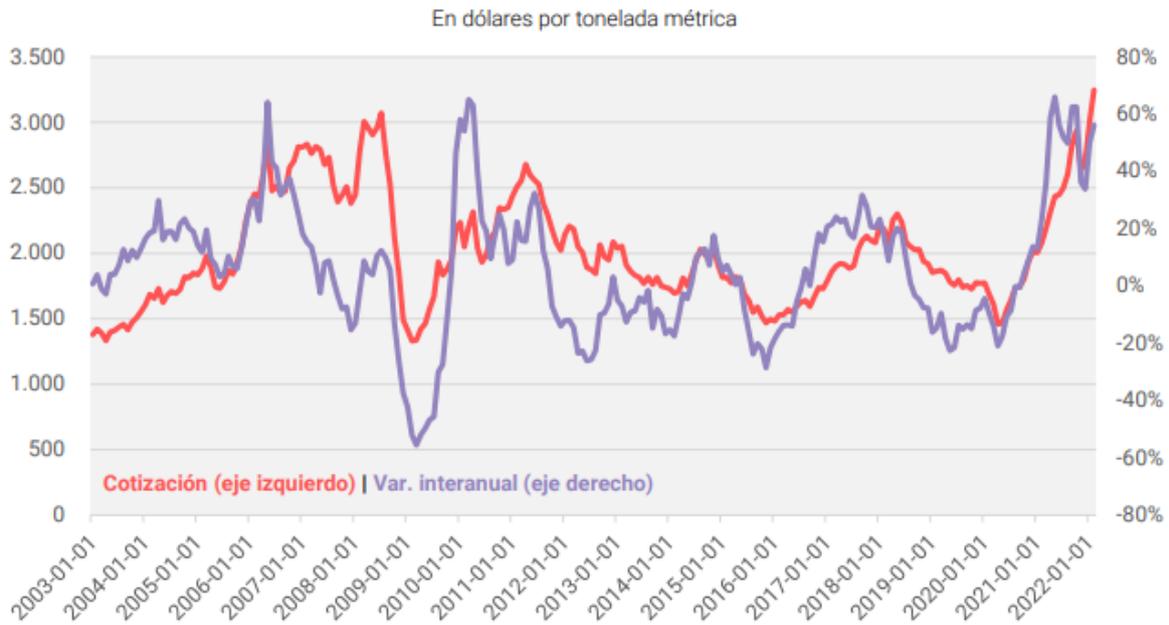
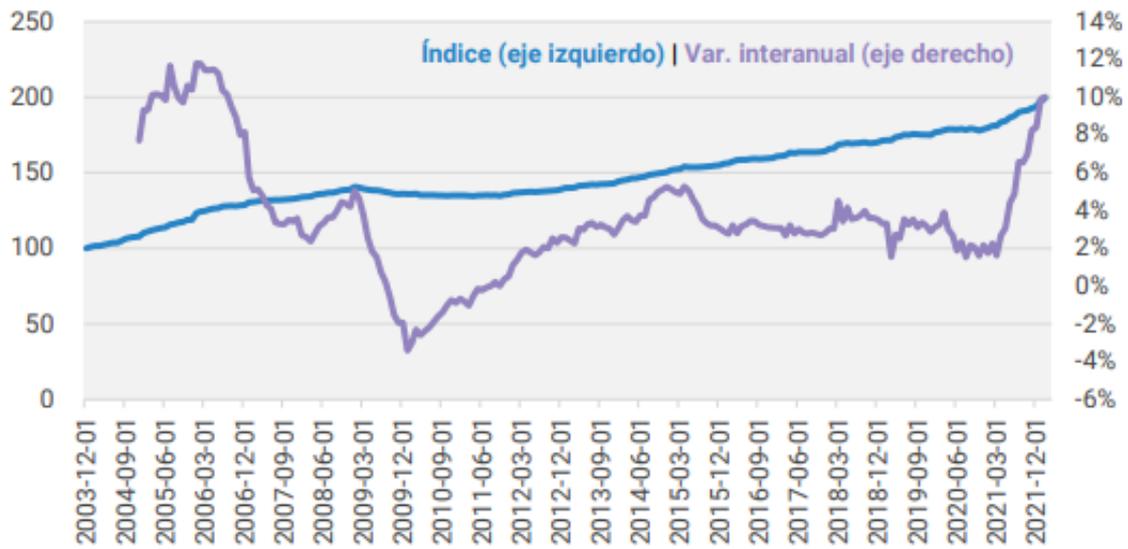
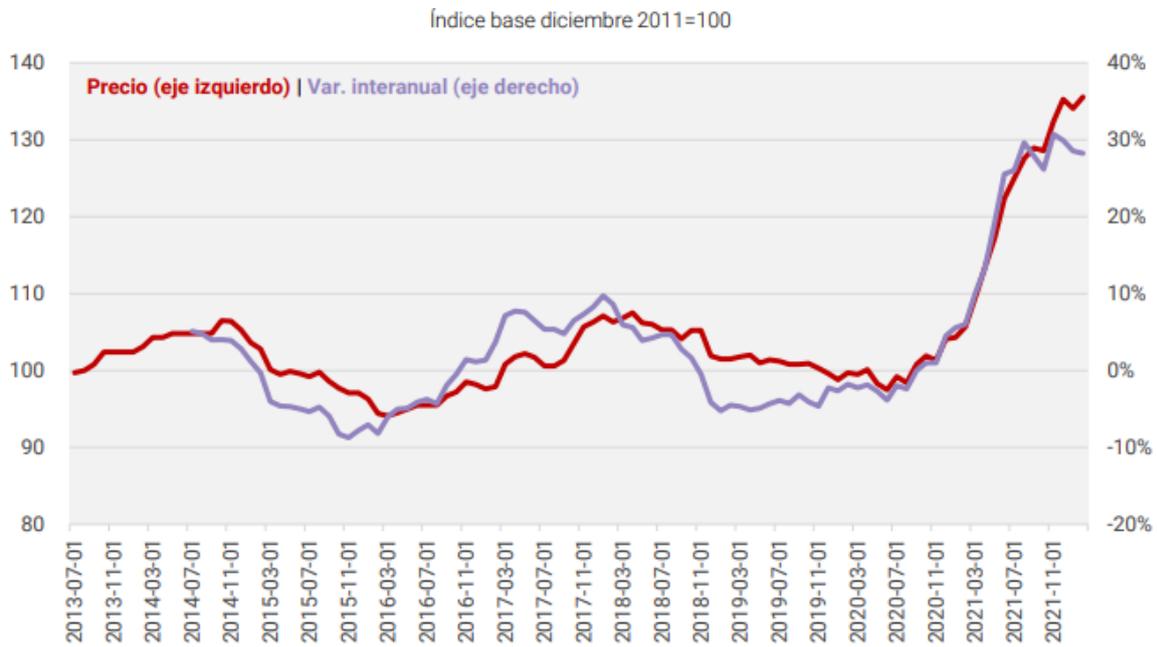


Gráfico 7. Índice de Precios del Cemento y Productos Manufacturados de Concreto



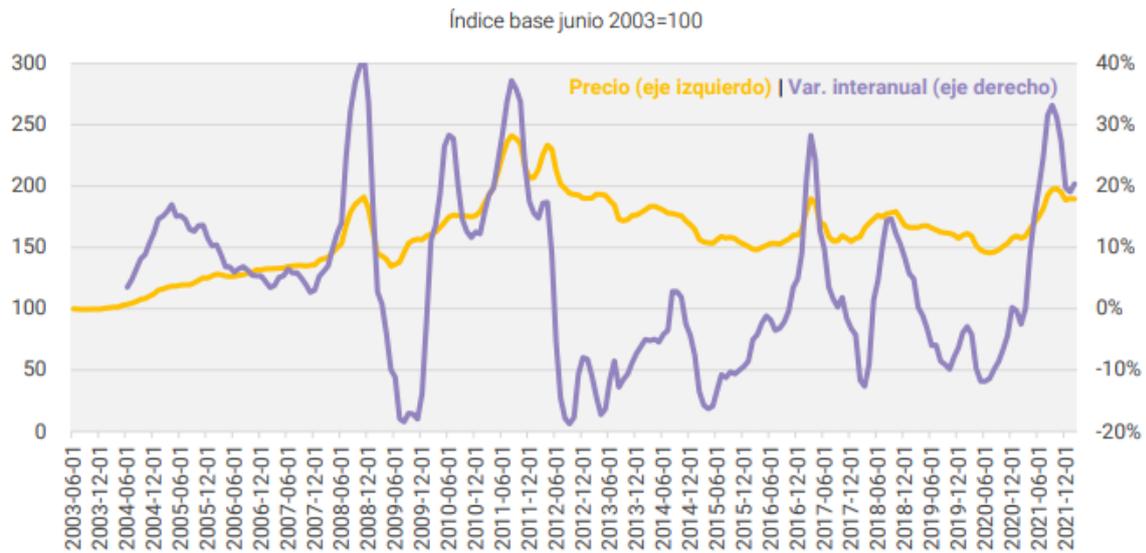
Fuente: CEP-XXI con base en Banco de St Louis, Reserva Federal de Estados Unidos

Gráfica 8.- Precio del Polietileno



Fuente: CEP-XXI con base en Banco de St Louis, Reserva Federal de Estados Unidos

Gráfica 9.- Precio del Polipropileno y Caucho



Fuente: CEP-XXI con base en Banco de St Louis, Reserva Federal de Estados Unidos

El estudio realizado por Accenture (2015) constata que en 2050 se habrán consumido recursos equivalentes a tres planetas. Aunque dicha estimación se realizó con previsiones ciertamente pesimistas, sin tener en consideración aspectos de innovación tecnológica o usos eficientes de los recursos, este estudio evidencia la insostenibilidad que representa el modelo de economía tradicional.

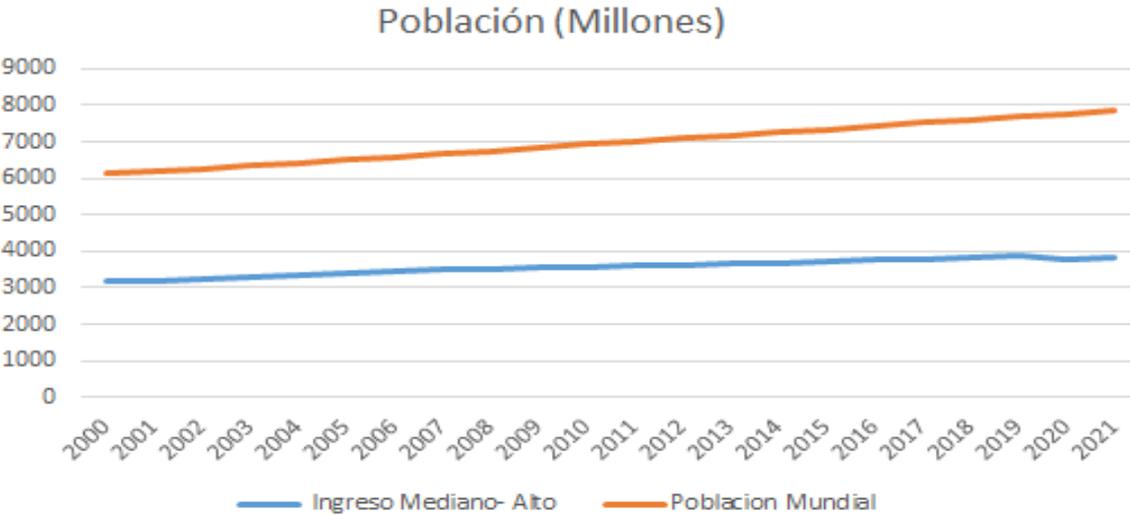
Por último, es interesante poner de manifiesto un elemento fundamental que no hace sino fortalecer la idea que se viene presentando, y es que la distancia entre oferta y demanda de recursos no va a parar de aumentar. Ello traerá consigo una inestabilidad todavía mayor en los precios de los recursos y coyunturas económicas y sociales cada vez más extremas debido a la escasez de suministro.

4.2.4 De la Linealidad a la Circularidad

Una solución a la problemática planteada es la alternativa que descansa sobre los principios de la EC, ya que no solo plantea la posibilidad de generar valor para las partes involucradas, sino que además aporta soluciones ante la problemática de la destrucción de la reserva natural del planeta, incluye el uso de tecnología al servicio del nuevo sistema, provee nuevas oportunidades de empleo, recogiendo así parte de la problemática social que existe como consecuencia del sistema actual. Este nuevo paradigma implica desafíos profundos a nivel de empresas, con cambios en los modelos de negocios pasando a formar ciclos cerrados de producción y consumo, planteando nuevos principios rectores para guiar las acciones orientadas a generar valor.

En el marco de las incertidumbres actuales, los modelos convencionales no encuentran respuestas adecuadas para las consecuencias de las mega tendencias mundiales como el aumento de la población en particular de la clase media, que exigirá mayor consumo de recursos, las transformaciones socio-ecológicas que se experimentan en actualidad o los efectos de la crisis económica multidimensional a nivel mundial. Existen pocas dudas que la humanidad se está enfrentando a una crisis global de sostenibilidad, que requiere nuevos paradigmas para encontrar esas respuestas. (Herrero et al. 2020)

Gráfica 10. Crecimiento de la Población Mundial



Fuente: Banco Mundial

4.3 EL MODELO CIRCULAR

4.3.1 Antecedentes del concepto de Economía Circular

La Economía Circular no es un concepto nuevo, se comienza a gestar a través del trabajo de Kenneth Boulding en 1966, mediante el desarrollo del concepto de la Economía del Astronauta, donde se plantea que el sistema económico abierto convencional debe ser sustituido por un ciclo de reproducción continua de materiales, presenta como excepción los insumos de energía externos. Deriva también del concepto de Ecología Industrial desarrollado por Ayres y Kneese en los años 70, según la cual se debían crear procesos cerrados en el que los residuos sirven de entrada para otros procesos, eliminando el concepto de desechos.

En 1976 Walter Stahel publica un informe de investigación acerca de la visión de una Economía en Bucles (o Economía Circular) y su impacto en la creación de empleo, competitividad económica, ahorro de recursos y prevención de residuos. Acreditado por ser el inventor de la expresión “Cradle to Cradle” (de la Cuna a la Cuna), Stahel trabajó en el desarrollo de un enfoque de Bucle Cerrado para los procesos de producción y fundó el Product Life Institute en Ginebra hace más de 25 años.

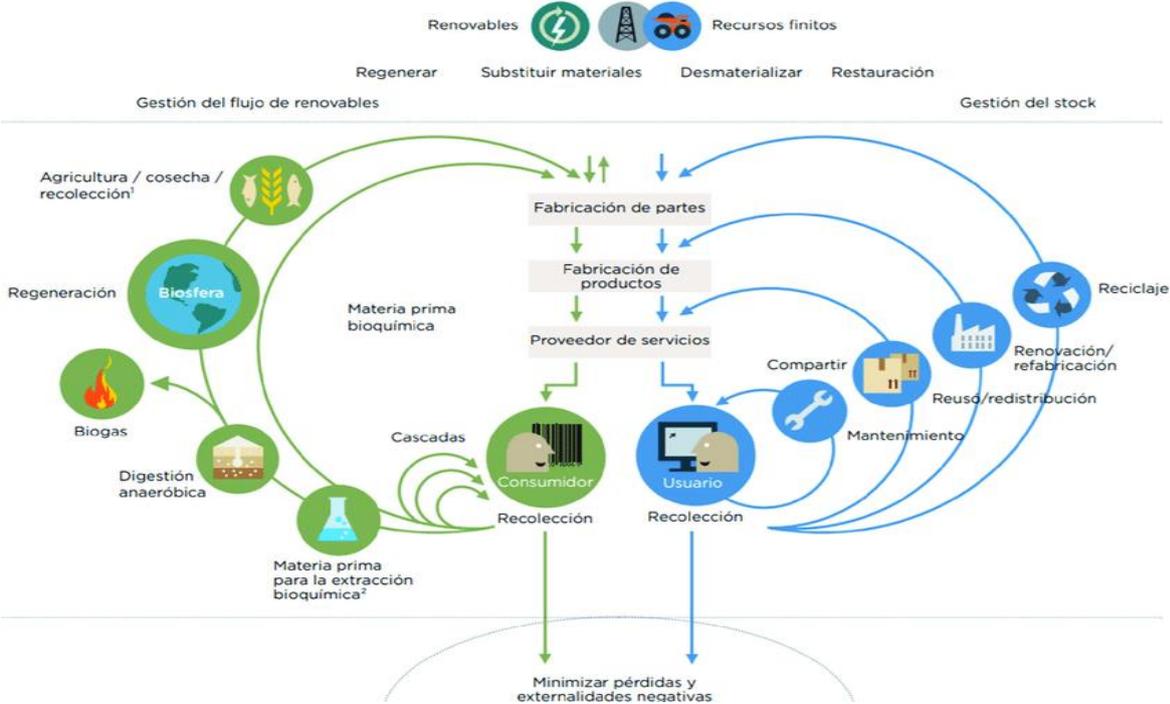
A partir de principios de los años 80, tomando cada vez más impulso, se da el surgimiento de conceptos como el Ecodiseño, Diseño Regenerativo, Economía del Rendimiento, Ecología Industrial, Economía Azul y Capitalismo Natural, varios de estos conceptos son tomados por MacArthur en 2014, conjugándolos para crear un sistema de bucle cerrado, representado a través del Diagrama de la Mariposa, donde los recursos o residuos deben reutilizarse y recircular por la mayor cantidad de tiempo, para el destino previsto o para otros distintos a los

originales de forma tal que se extienda lo máximo posible la vida útil de los materiales, disminuyendo la utilización de recursos naturales vírgenes, permitiendo la regeneración y conservación del capital natural del planeta.

4.3.2 El Diagrama de la Mariposa

La esencia de la EC se refleja en el llamado “Diagrama de la Mariposa” desarrollado por la Fundación Ellen MacArthur que intenta capturar el flujo de los materiales, nutrientes, componentes y productos, mientras incorpora el elemento valor financiero. Como ya se mencionó anteriormente está basada en varias escuelas de pensamiento, pero la mayor influencia radica en los dos ciclos de materiales del Cradle to Cradle: el Ciclo Biológico y el Técnico expresados en el diagrama.

Diagrama 2. Diagrama de la Mariposa.



Fuente: Ellen MacArthur Foundation

Los materiales biológicos están representados por los ciclos verdes en la parte izquierda del diagrama, estos materiales pueden volver a entrar al mundo natural de manera segura, una vez que atraviesan uno o más ciclos de uso son biodegradados con el tiempo, retornando como nutriente al medio ambiente.

Los materiales técnicos están representados en azul, en el lado derecho del diagrama y no pueden retornar al medio ambiente. Estos materiales, como los metales, plásticos y químicos sintéticos, deben ciclar continuamente a través del sistema para que su valor pueda ser recapturado.

En este sistema circular se deben desarrollar diseños de productos que proyecten cero residuos y que promuevan el uso de energía renovables. Se trata de potenciar la interacción entre los sistemas productivos, promoviendo la reutilización de productos y materiales entre industrias. Este sistema persigue como objetivo maximizar la oportunidad de crear valor a través del paso de productos y materiales por los distintos procesos productivos de forma interdependiente, buscando maximizar la utilización de los insumos que están en el bucle evitando utilizar nuevos recursos.

4.3.3 El Desafío del Cambio de Paradigma

En el Foro de Economía Circular Latam desarrollado desde 2017, se propone un cambio sistémico radical que apunta al concepto de Ecodiseño, Simbiosis Industrial, Economía de la Funcionalidad, Reuso, Reparación, Remanufactura y Valorización. Este enfoque promueve la innovación y la resiliencia organizacional a largo plazo y permite el desarrollo de nuevos

modelos de negocio. Plantea una alternativa a las carencias sobre las que se desarrolla el Sistema Lineal y aborda conceptos como la sostenibilidad, que apuntan a obtener valor de los materiales, de los recursos y los productos manteniéndolos en la economía durante más tiempo, resultando además una reducción en la generación de residuos.

Este nuevo modelo económico busca, en última instancia, desacoplar el desarrollo económico global del consumo finito de recursos. Impulsa objetivos estratégicos claves como la generación de crecimiento económico sustentable, la creación de empleo y la reducción de los impactos ambientales, incluidas las emisiones de GEI (Alvarado, 2019).

El cambio de paradigma requiere una nueva forma de pensar en la viabilidad de los emprendimientos, con una visión más integradora de la actividad empresarial, donde el beneficio no solo incluya a los costos financieros derivados de la propia actividad, sino que considere también las externalidades negativas fruto de dichas acciones.

Requiere incorporar una concepción de beneficio más amplia que la económico-financiera, la información contenida en los Balances Integrados, de acuerdo a lo expuesto por Ramos y Vidal (2021), a través de los cuales se consideran además los costos ambientales dentro del Balance Financiero. Se busca medir el nivel de compromiso de cada empresa con los grandes desafíos que enfrenta la humanidad a través del trinomio “beneficios-personas-planeta”.

De acuerdo con esta definición los nuevos emprendimientos deben, más allá de los resultados financieros, ser evaluados a través de costos y ganancias incluyendo desafíos sociales como la

explotación laboral, la discriminación de género o el trabajo infantil. Incluye también los costos de los impactos ambientales, ya sea el deterioro de la capa de ozono, el calentamiento global o la pérdida de biodiversidad. De modo de medir el costo total y los beneficios de las empresas de forma más realista.

Esta idea del costo total o costo real de producción deriva de la convicción de que los costos de la contabilidad financiera no miden realmente los costos totales de producción. Solo contabilizan el costo por unidad de producción y el precio de venta para obtener beneficios. Sin embargo, esta es una imagen parcial y distorsionada de los verdaderos costes de producción que no tiene en cuenta las externalidades negativas.

4.3.4 Principios de Economía Circular

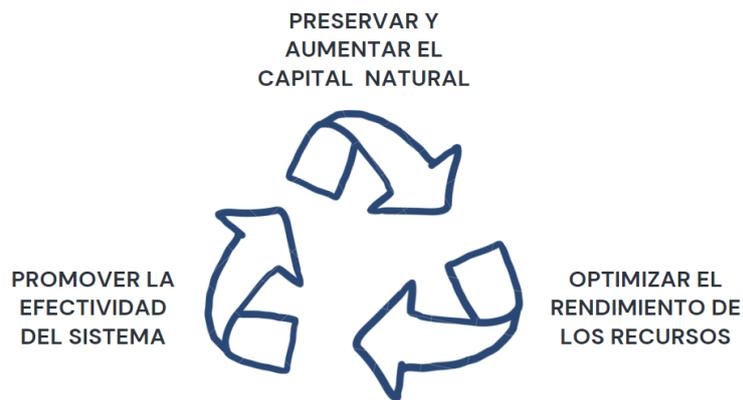
Para cumplir los objetivos de disminuir el uso de los recursos y la producción de residuos o limitar el consumo de energía, en 2014 la Fundación Ellen MacArthur, plantea tres principios básicos en los que se basa el concepto de Economía Circular.

Como primer principio se señala que se debe Preservar y Aumentar el Capital Natural, utilizando recursos renovables, dando tiempo a la regeneración de los sistemas biológicos.

El segundo principio es el de Optimizar el Rendimiento de los Recursos, se deben diseñar materiales y componentes para extender su vida útil, permitiendo que permanezcan en circulación por más tiempo y facilitando su reutilización.

Por último, el tercer principio propone Promover la Efectividad del Sistema, proyectando la eliminación de las externalidades negativas que pueda producir el sistema que afectan a las personas y al medio ambiente.

Diagrama 3. Principios de Economía Circular



Fuente: Elaboración propia

4.3.5 La Metodología ReSOLVE

A su vez, estos tres principios pueden ser aplicados en acciones de negocios concretas, tal como lo plantea el marco conceptual ReSOLVE. Se trata de una metodología desarrollada por la Fundación Ellen Macarthur y Arup que surge de la formación del acrónimo de las palabras en inglés: **R**egenerate (regenerar), **S**hare (compartir), **O**ptimise (optimizar), **L**oop (bucle), **V**irtualise (virtualizar) y **E**xchange (intercambiar).



Regenerar el capital natural.

Sustituir el uso de materiales y energías renovables, restaurar la salud de los ecosistemas, devolviendo los recursos biológicos recuperados a la biósfera. Para implementar esta acción se debe extender la vida útil de los productos no renovables como la forma de combatir la obsolescencia programada estipulada para ese tipo de bienes. A través de acciones de mantenimiento y actualización, apoyado previamente en el diseño flexible de tipo modular, donde se prevean posibles usos alternativos a los originales de forma de incrementar la durabilidad de los componentes y disminuir así la demanda de nuevos recursos naturales.

En este sentido, la Fundación Ellen MacArthur distingue que los recursos se recuperan a través de dos ciclos, el Ciclo Biológico donde distintos procesos naturales permiten regenerar la materia descartada sin necesidad de una intervención humana, y el Ciclo Técnico donde la intervención humana recupera los distintos materiales con las transformaciones técnicas necesarias.



Compartir los bienes.

Se requiere entender el concepto producto como un servicio compartido, donde el valor se obtiene en función de la capacidad de ser utilizado de forma conjunta y compartida, no por la mera posesión del mismo. Se persigue reducir la frecuencia de sustitución de productos, así como la mejora en la eficiencia del consumo de los recursos. El transporte y la distribución de

los bienes de partes vinculadas en los procesos también se deben gestionar eficientemente disminuyendo las externalidades negativas desde el punto de vista medioambiental.



Optimizar las cantidades de materiales utilizados.

Reducir frecuencias de sustitución de materiales, aumentando la eficiencia de los productos, eliminar los desechos en la producción y en las cadenas de abastecimiento, usar material reciclado, incorporar materiales ecoeficientes que causen el menor impacto ambiental y minimizar el uso de recursos escasos en la naturaleza. Está relacionada además con la restauración de los bienes, permitiendo el intercambio al reintroducir los productos al final de su ciclo de vida en nuevos sistemas que permitan producir nuevos productos con la misma funcionalidad que los originales u otras distintas, de forma de evitar el uso de nuevos recursos no renovables y disminuir la generación de residuos, se logra así, reducir el impacto en el medioambiente.



Construcción de un Bucle cerrado.

Esta acción se desarrolla en tres niveles, entre usuarios, a nivel de usuarios y negocios y entre negocios. Se trata de recircular los bienes, de manufacturar los productos y sus componentes recirculando los materiales ya disponibles, procurando la máxima eficiencia, reduciendo además los consumos de otros recursos necesarios como son la energía y el agua. Nuevamente surge la necesidad de lograr mayor eficiencia en los procesos de forma de minimizar los

defectos en el proceso productivo, evitando reprocesos, los que implican desperdicio de recursos y generan residuos.

A nivel de empresas, también implica un rediseño del proceso productivo de tal forma que permita reutilizar al máximo los residuos generados. Esta simbiosis industrial tiene además un carácter transversal, se centra en las relaciones entre ellas, para lograr una actividad coordinada de forma sostenible y rentable. Se basa en la cooperación y en la búsqueda de oportunidades en los distintos procesos, intercambio de recursos o subproductos, de manera que se maximice su uso y se cierren los ciclos de materiales, agua y energía por citar algunos.



Virtualización de los bienes.

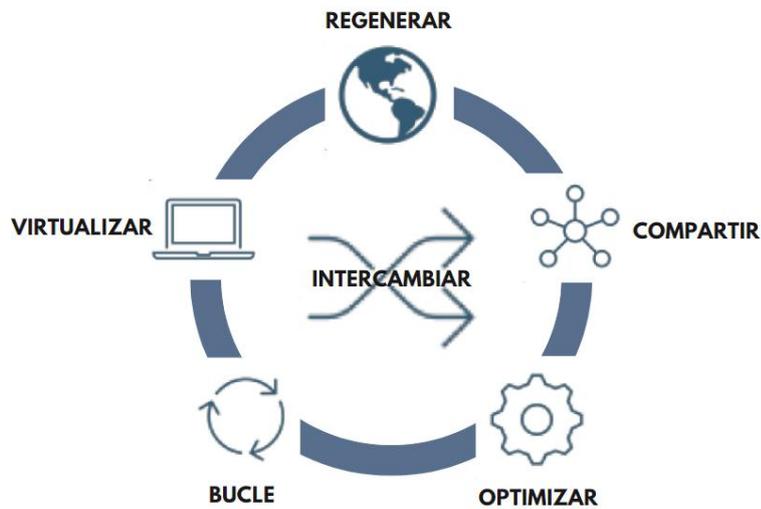
Vinculado al punto anterior, se busca desmaterializar el producto a través del uso de la tecnología, desarrollando el concepto de Servitización. Es decir, pensar a los bienes materiales como servicios compartidos, donde la generación de valor radica en su uso.



Intercambiar bienes y servicios.

Esta acción engloba a todas las anteriores, ya que permite el aprovechamiento de los excesos de productos generados de forma de obtener la máxima eficiencia. Implica una adecuada gestión del stock para mantener el valor de los recursos el mayor tiempo posible, es imprescindible seleccionar la entrada de recursos adecuadamente y aplicar nuevas tecnologías de forma eficiente y escoger productos o servicios sustentables.

Diagrama 4. ReSOLVE



4.3.6 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)

La plataforma de circularidad del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, proporciona una comprensión del concepto de circularidad, su alcance y cómo contribuye a promover patrones de consumo y producción sostenibles. Se establece que la circularidad se basa en bucles de retención de valor:

Proceso de Usuario a Usuario: ciclo más corto, donde un producto o componente permanece cerca de su usuario y función.

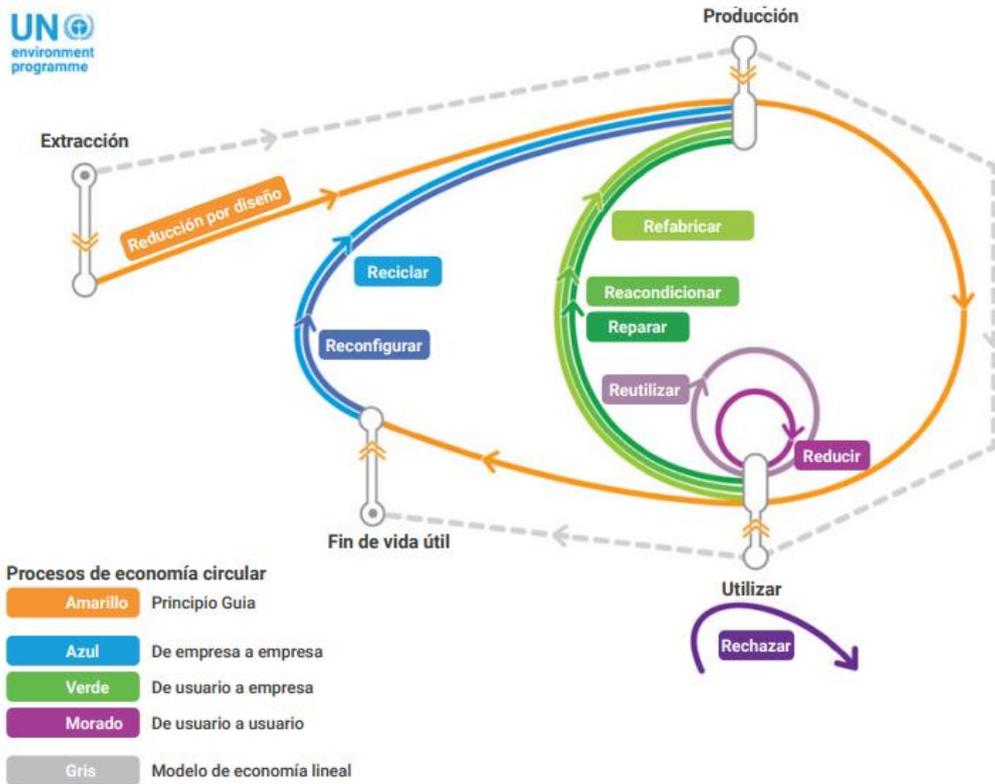
Proceso de Usuario a Negocio: ciclos de medios a largos, donde un producto o componente es actualizado volviendo a involucrarse el productor.

Proceso de Negocio a Negocio: ciclo de largo plazo donde un producto o componente pierde su función original

Estos procesos contribuyen a la circularidad y pueden ser agrupados en categorías:

1. Reducir mediante el diseño: la reducción de la cantidad de material utilizado, en particular de la materia prima, debe aplicarse como principio rector general desde las primeras etapas del diseño de productos y servicios.
2. Desde una perspectiva de usuario a usuario: Rechazar, Reducir y Reutilizar
3. Desde la perspectiva de un intermediario entre el usuario y la empresa: Reparar, Reacondicionar y Re-manufacturar
4. De negocio a negocio: Reutilizar y Reciclar.

Diagrama 5.- Procesos de Economía Circular.



Fuente: PNUMA

Cuadro 2. Características de la Economía Circular

Mejora en los impactos medioambientales de los procesos económicos.

Fomenta la innovación mediante el desarrollo y aplicación de la tecnología a los procesos económicos para crear interacciones bajo la consigna cero residuos.

Crea un sistema resiliente, ampliando las fuentes de materias primas, materiales y energías con sistemas interconectados mediante la construcción de una sólida red.

Disminuye la demanda de recursos naturales renovables y no renovables, favoreciendo la regeneración de la naturaleza y protegiendo el capital natural del planeta.
Favorece el uso de energías renovables, promueve la eficiencia energética, la reducción del uso de combustibles fósiles y sus consecuentes emisiones (GEI).
Favorece el cambio en los hábitos de consumo en detrimento de la cultura del use y tire.
Minimiza la generación de residuos que terminan en vertederos.
Ahorro en costos de materiales (extracción y proceso de materiales vírgenes).
Fomenta el análisis de costos con una visión integradora.
Disminuye la volatilidad de precios y el riesgo asociado al suministro, evita la formación de monopolios mediante una oferta más diversificada.
Fomenta la independencia de importaciones de productos o materia prima y asegura un suministro más ágil y diversificado.
Genera impactos positivos en los procesos económicos.
Genera nuevas oportunidades de negocios mediante procesos de reciclaje, transformación y reutilización de los productos.
Crea nuevas profesiones y oportunidades de empleo.
Fomenta el diseño de los productos que permitan ejecutar acciones posteriores para eliminar el desperdicio.
Fomenta los ciclos de reducción, reutilización y reciclado, aumentando la sostenibilidad del sistema.

Fuente: Elaboración Propia

4.3.7 Las Normas ISO (International Organization for Standardization) y la Economía Circular



ISO/TC 323 Economía Circular

ISO - Towards a circular economy

ISO es una organización no gubernamental independiente conformada por organismos nacionales de normalización, donde se desarrollan Normas Internacionales que abarcan desde soluciones técnicas hasta sistemas que organizan procesos y procedimientos. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible representan un plan desarrollado por las Naciones Unidas para lograr la sostenibilidad del mundo, para mejorar la paz y la prosperidad, erradicar la pobreza y proteger el planeta.

ISO contribuye a los ODS abordando dimensiones económicas, medioambientales y sociales que constituyen herramientas para los gobiernos, la industria y los consumidores. Para cada Objetivo existen numerosas normas ISO directamente aplicables.

Como sucede con el vínculo directo entre ISO y los ODS, también existen normas en la certificación ISO que se encuentran alineadas con la EC, tales como: El Certificado norma ISO 14001 de gestión ambiental, la Verificación EMAS, que implica la excelencia en la gestión ambiental, el Certificado norma ISO 50001 de eficiencia energética, para reducir la huella de carbono en el proceso productivo, el Certificado norma ISO 14006 para implantar un sistema de gestión para el Ecodiseño, la norma ISO 14040 sobre análisis de ciclo de vida de productos,

el Certificado norma ISO 9001; se puede afirmar que la gestión de la calidad también ayuda a implementar estrategias vinculadas con la EC.

Actualmente un nuevo comité técnico de ISO, compuesto por expertos de más de 65 países, se encuentra trabajando actualmente en el desarrollo de una norma específica para Economía Circular: la ISO/TC 323.

En un seminario organizado por el miembro de ISO para Francia, los líderes empresariales de muchos sectores expresaron la necesidad de pasar a un modelo de EC, surgiendo el XP X30-901, Economía Circular - Sistema de gestión de proyectos de economía circular - Requisitos y directrices que se publicó en 2018. A raíz de la respuesta obtenida, se propuso un comité internacional y nació ISO/TC 323 Economía Circular.

Esta norma está destinada a ser utilizada por todo tipo de organizaciones que buscan comprender y comprometerse con una EC mientras contribuyen al desarrollo sostenible. De esta manera se apoyará en mayor medida a los ODS, entre los cuales se destacan el ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico; ODS 12: Consumo y producción responsables; ODS 13: Acción por el clima y ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres.

La Estandarización en el campo de la EC propone desarrollar marcos, guías, herramientas de apoyo y requisitos para la implementación de actividades de todas las organizaciones involucradas, para maximizar la contribución al Desarrollo Sostenible.

En efecto, ISO/TC 323 Economía Circular, tiene como objetivo cubrir la contratación pública, la producción y la distribución, el final de la vida útil y áreas más amplias, como el cambio de comportamiento en la sociedad y la evaluación, como algún tipo de huella circular o índice. Además, se incluirán un conjunto de principios y terminología acordados internacionalmente, un marco de lo que es una EC y desarrollar un estándar de sistema de gestión.

Situación actual del desarrollo de la Normas

Para el desarrollo de esta nueva norma, se constituyeron grupos de trabajo integrados por expertos de 65 países, cada uno realizando documentos que abarcan distintos aspectos de la estandarización de la EC. Estos grupos son:

Grupo 1: CD/ISO 59004 Economía Circular - Terminología, principios y orientación para la implementación.

Define la terminología clave, establece los principios de la EC y brinda orientación para su implementación mediante el uso de un marco y áreas de acción.

Grupo 2: CD/ISO 59010 Economía Circular - Orientación sobre la transición de modelos comerciales y cadenas de valor.

Proporciona una guía para una organización que busca hacer la transición de sus modelos comerciales y cadenas de valor de lineal a circular, ya sea que se ocupen de productos o servicios. Impulsará el rediseño, desde el inicio, de actividades para mejorar el uso circular de los recursos y los beneficios sociales, ambientales y económicos.

Grupo 3: CD/ISO 59020 Economía Circular - Medición y evaluación de la circularidad.

Especifica un marco para que las organizaciones midan y evalúen la circularidad. Es aplicable a múltiples niveles de un sistema económico, desde el nivel regional, inter organizacional, organizacional hasta el nivel de producto. El marco proporciona orientación sobre cómo puede medirse y evaluarse de manera objetiva, integral y confiable utilizando indicadores de circularidad y métodos complementarios. Se puede utilizar para determinar la eficacia de las acciones circulares ejecutadas por las organizaciones.

Grupo 4: ISO/DTR 59031 e ISO/DTR 59032 - Temas específicos de EC.

Elabora un informe técnico que brinde un análisis de casos de estudio para la implementación de aspectos específicos de la EC en las actividades de las organizaciones, cualquiera que sea su estado, como temas de Desempeño - ISO/TR 59031, Revisión de la Implementación del Modelo

de Negocio - ISO/TR 59032, Uso y Gestión Eficiente de los Recursos en la Economía Circular:
Buenas Prácticas para la Replicabilidad - ISO /TR 59033.

Grupo 5: ISO/WD 59040 - Hoja de Datos de Circularidad del Producto.

El documento proporciona una metodología general para mejorar la precisión y la integridad de la información basada en el uso de una Hoja de Datos de Circularidad del producto. Brinda orientación para la definición y el intercambio de la Hoja de Datos, considerando el tipo, el contenido y el formato de la información que se proporcionará.

4.4 EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN Y SU IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

El sector de la Construcción representa una porción muy alta dentro del mapa de impactos medioambientales producto de la acción humana, se estima que la contaminación global atribuible a los edificios impacta en la contaminación del aire en un 23 %, los gases del cambio climático en un 50 %, la contaminación del agua potable en 40 %, los desechos de vertederos en 50 %, Dixon (2010). A nivel mundial, la industria de la construcción es una de las más contaminantes en la actualidad, se puede estimar que un 40% de la contaminación está ligada directa o indirectamente a las actividades constructivas, García et al. (2020).

Por lo tanto, es medular fomentar un Desarrollo Sostenible del sector, para Guzman (2020) corresponde a la capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras para satisfacer a sus propias

necesidades. A su vez abarcan aspectos económicos, ambientales y sociales. El sector deberá sumar iniciativas que integren buenas prácticas con altos estándares de calidad, apoyándose en certificaciones medioambientales, no solo limitándose a disminuir los GEI y la generación de ROC, sino gestionando los recursos naturales de forma sostenible, analizando el ciclo de vida de sus productos para minimizar el impacto generado en la extracción de materias primas necesarias para el proceso constructivo.

Según García, et al. (2020), medir y reportar las emisiones de GEI de los edificios es fundamental para producir estrategias significativas y rentables. Aunque las metodologías de emisión de carbono varían de un país a otro, el marco básico suele ser el proceso de análisis del ciclo de vida (ACV). El ACV generalmente se considera un enfoque de "cuna a cuna", donde los productos se evalúan sistemáticamente durante toda su vida útil.

Se señala la importancia de reducir las emisiones incorporadas de los materiales de construcción, pero aún se desconoce si las emisiones incorporadas pueden reducirse en gran medida. Aunque los ingenieros y arquitectos no tienen control sobre el proceso de fabricación de materiales de construcción, estos profesionales pueden desempeñar un papel importante en la reducción del carbono al seleccionar los materiales consultando las bases de datos locales, agencias gubernamentales y sin fines de lucro.

Mantener el diseño del edificio lo más simple posible mediante la eliminación de material innecesario, un concepto también conocido como Desmaterialización, Diseño de Durabilidad y

Priorización de Edificios Medios a Altos, tiene el potencial de reducir las emisiones de carbono por metro cuadrado.

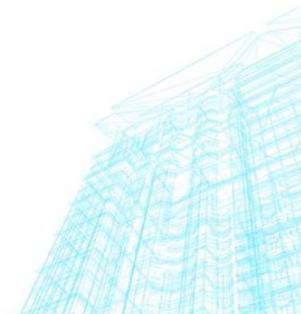
4.4.1 Acercamiento del Sector de la Construcción a la Economía Circular

En 2012, la Comisión Europea propuso el Plan de Acción para enfrentar los desafíos del sector de la construcción. El Foro Construcción 2020 es el resultado de este plan, que acompañó a la publicación del informe “Estrategia para la Competitividad Sostenible del Sector de la Construcción y sus empresas”. Entre las áreas abordadas, se destaca la de la Eficiencia de los Recursos, centrándose en la construcción de bajas emisiones, el reciclaje y la valorización de los residuos de construcción y demolición.

Diagrama 6. Principales datos sobre el impacto del sector de la construcción, a nivel Europeo y en España.

- ❑ 50% de los materiales extraídos. [1]
- ❑ 40 % de la energía utilizada. [2]
- ❑ 35% de los residuos generados. [1]
- ❑ Entre el 5% y 12% de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero (GEI), cuando una mayor eficiencia de los materiales podría suponer un ahorro del 80 % de esas emisiones. [1]
- ❑ 18 millones de empleos directos. [3]
- ❑ En 2015, en España, la generación de RCD supuso [4]:
 - Un 54% enviado a **vertedero**.
 - La edificación produjo el 71% de los RCD, frente al 29% de la obra civil.

[1] Comisión europea, «11.3.2020 COM(2020) 98 final. Nuevo Plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y más competitiva.» Bruselas, 2020.
[2] Comisión europea, «Construir y Renovar. El pacto verde europeo». Bruselas, 2019
[3] Comisión europea, «The european construction sector. A global partner». Bruselas, 2016
[4] RCD Asociación, «Producción y Gestión de RCD en España 2010-2015» Madrid, 2015.
<https://rcdasociacion.es/images/documents/Informe-RCDA-11-15.pdf>



Fuente: CONAMA 2020

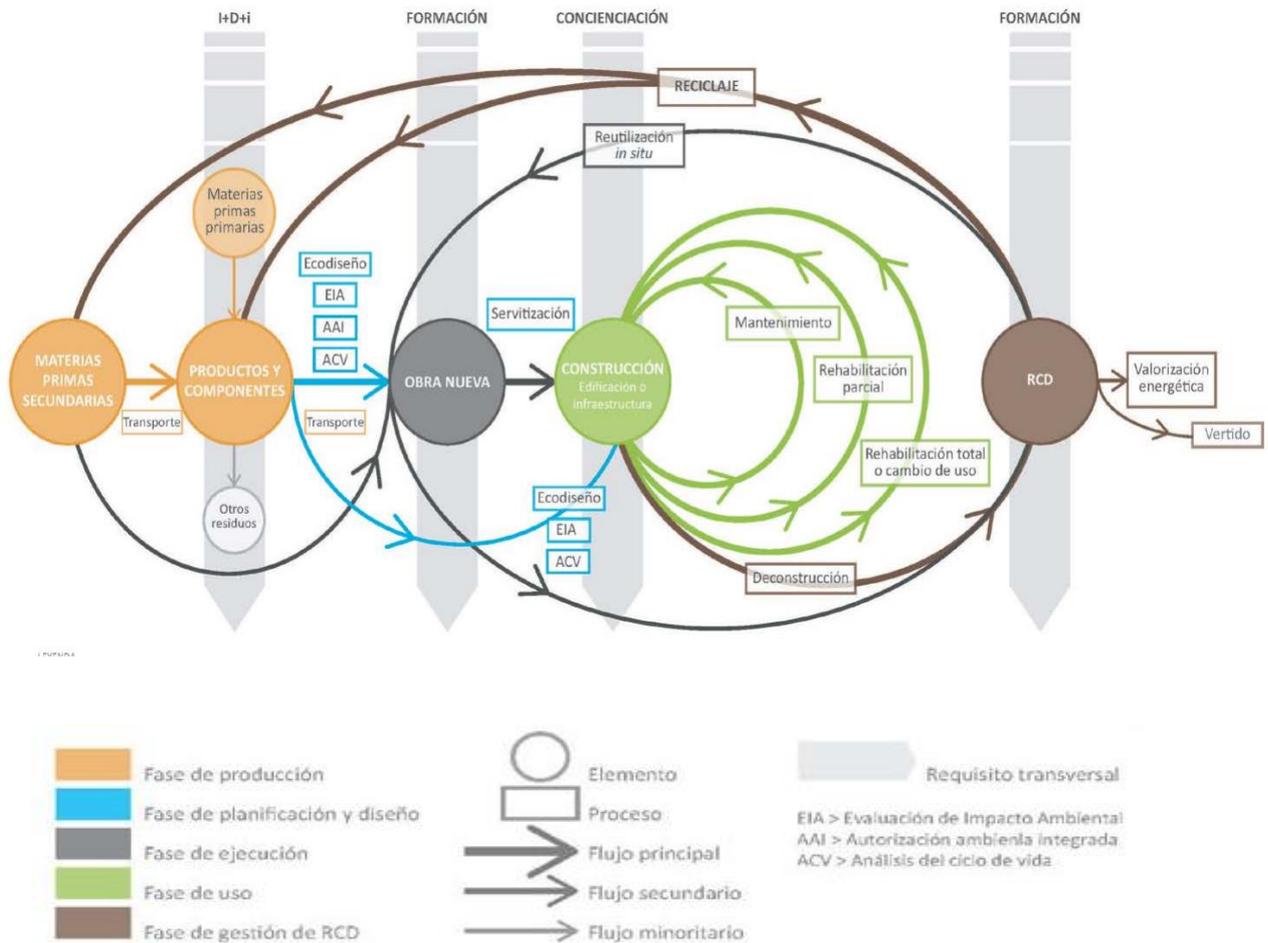
4.4.2 CONAMA 2018 y el GT-06

En 2018, se desarrolló en Madrid el Congreso Nacional de Medio Ambiente, organizado por la Fundación española CONAMA que trabaja en materia ambiental para España e Iberoamérica, conformándose el grupo de trabajo GT-6, dedicado a “Economía Circular en el Sector de la Construcción”, compuesto por profesionales que representaban a distintos actores en la cadena de valor.

Este congreso fue importante en materia de EC en la construcción, ya que estableció en su informe que: ”Introducir la economía circular en los distintos ámbitos, liderada transversalmente por diferentes actores genera nuevas oportunidades de negocio y permite valorar actividades ya existentes actualmente dándoles más fuerza. Estas nuevas actividades refuerzan y repercuten positivamente en toda la cadena de valor, a lo largo de las distintas fases de la construcción”. CONAMA (2018)

Además, surgió la necesidad de emplear un enfoque de ciclo de vida en toda la cadena de valor, como uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta a la hora de abordar la EC en el sector de la Construcción. Tomando por referencia dicho enfoque, propuso un esquema conceptual.

Diagrama 7. Economía Circular en el sector de la Construcción.



Fuente: Conama 2018

Se establece también los fundamentos en los que debe basarse el nuevo paradigma para el sector:

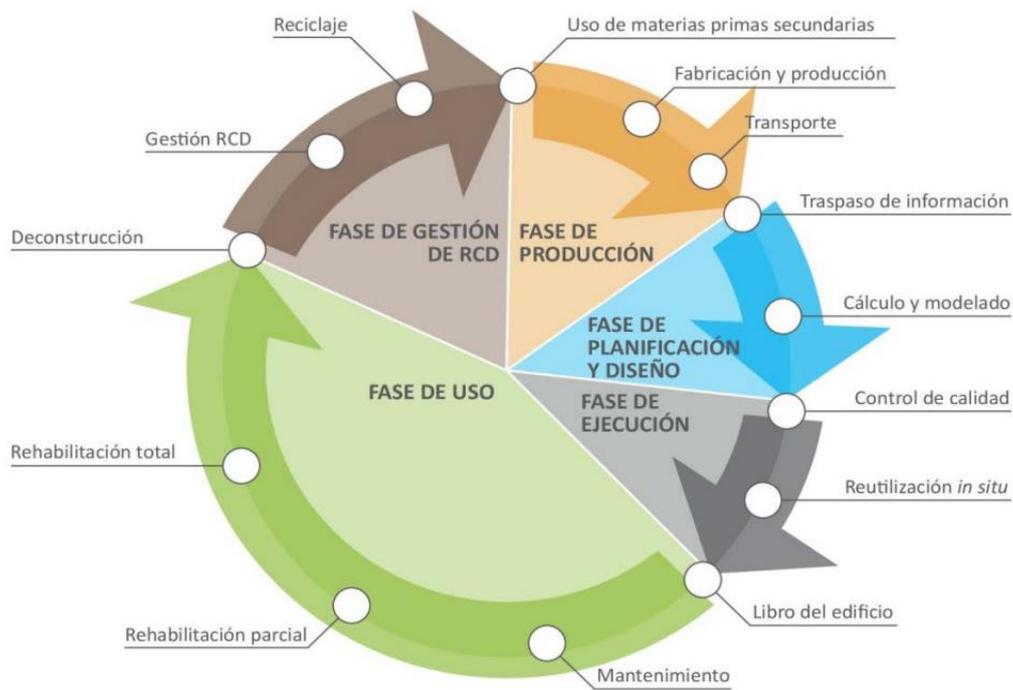
- La introducción del Ecodiseño en los proyectos de construcción, permitiendo desarrollar, aguas arriba, toda la industria subsidiaria, fomentando el I+D+i de nuevos materiales de construcción sostenibles.

- Optimizar la eficiencia energética y confort en la edificación, apostando por las energías renovables (ej, solar y/o biomasa) y reducción de las emisiones de CO₂. Para lograrlo, se podrán utilizar herramientas y referencias normativas de construcción sostenible, de las que son ejemplos BREEAM o LEED.
- Apostar por la digitalización del flujo de trabajo en el proceso constructivo, eliminando ineficiencias y aumentando la productividad del sector, mediante el empleo de nuevas metodologías de trabajo como es el *BIM*³.

Dividió la cadena de valor del sector en 5 fases que agrupan las actividades involucradas en el proceso de la construcción en la integridad del Ciclo de Vida.

³ Modelado de información de construcción que permite hacer simulaciones en 2D o 3D, aporta información del proyecto relativa a la geografía, al tiempo y presupuesto de ejecución de la obra o a las implicaciones ambientales.

Diagrama 8. Esquema simplificado del proceso circular en el sector de la construcción



Fuente: Conama 2018

4.4.3 CONAMA 2020 y el GT-15

Dado el interés generado por el trabajo en el sector de la construcción, el grupo fue convocado para la 15ª edición del Congreso en 2020, en la cual se denominó GT-15 “Economía Circular en la Construcción” y también fue coordinado por la organización internacional Green Building Councils⁴ - en este caso con su grupo de España. La importancia del trabajo desarrollado es que

⁴ GBC. Son organizaciones independientes sin fines de lucro creadas por empresas y organizaciones que trabajan en la industria de la construcción

se actualizó la información en EC en el sector y se realizaron valiosas propuestas como estrategia para un Entorno Construido Sostenible, entre las cuales se destacan las siguientes:

- Impulsar las exigencias reglamentarias y la compra pública verde mediante la reutilización de productos y el contenido de reciclado en proyectos y licitaciones públicas.
- Acceso libre y actualizado a la información y a las certificaciones de productos y materiales.
- Fomentar como lógica empresarial la circularidad de materiales y procesos.
- Obligatoriedad de integrar el Ecodiseño en los proyectos de arquitectura.
- Legislar en España, para limitar el uso de materias primas vírgenes en la fabricación de materiales de construcción.
- Incentivar la rehabilitación con criterios de sostenibilidad.
- Fomentar el diseño de los activos construidos basado en Economía Circular, flexibilización de programas o facilidad de desmontaje.
- Incorporar criterios de Economía Circular en la legislación del sector constructivo, especialmente en el Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Obligatoriedad de que todas las licitaciones públicas tengan criterios de partida de E.C. y sostenibilidad en los pliegos de condiciones.
- Impulsar el Banco de Materiales (BAMB) para que los productos de los edificios puedan circular con un pasaporte de materiales.
- Facilitar el conocimiento del edificio a los usuarios para mejorar su capacidad de mantenimiento.

- Potenciar e implementar herramientas libres, gratuitas y de fácil acceso para la realización de ACV e indicadores Level(s) de edificios.
- Hacer obligatorio en las grandes obras de demolición una Auditoría Pre-demolición
- Dar visibilidad al Catálogo de Residuos Utilizables en la Construcción.
- Obligatoriedad de integrar en el plan de gestión de residuos de cada obra.
- Asegurar una trazabilidad electrónica eficaz de los ROC.
- Aplicar la Lista de Verificación Protocolo de Residuos de Construcción y Demolición.
- Incluir en el diseño urbano la infraestructura para separación en origen y recogida de residuos.
- Desarrollar el mercado CE en los productos reciclados/recuperados de obra.
- Priorizar la rehabilitación integral de los edificios, alargando su ciclo de vida, como la mejor manera de lograr una EC.
- Impulsar el diseño de edificios desmontables o reversibles.
- Apostar por la construcción modular considerada sostenible por el Uso racional de la energía
- Fomentar y apoyar las certificaciones específicas del sector de construcción.

La Comisión Europea considera el sector de la Construcción uno de los ejes prioritarios a la hora de aplicar políticas de EC en Europa. Esta idea ha sido ratificada en el Pacto Verde Europeo y en el Nuevo Plan de Acción para la Economía Circular, adoptado a finales de marzo de 2020.

4.4.4 Pacto Verde Europeo

En el Pacto Verde Europeo, llevado a cabo en Bruselas en 2019 y desarrollado por la Unión Europea con el fin de mejorar el bienestar de las personas, definió un paquete de iniciativas políticas cuyo objetivo es situar a la UE en el camino hacia una transición ecológica, con el objetivo último de alcanzar la neutralidad climática de aquí al año 2050. Uno de los pilares es el objetivo del uso eficiente de la energía y recursos en el sector de la construcción.

Diagrama 9.- Estructura y contenidos del Pacto Verde Europeo.



Fuente: Pacto Verde Comisión Europea

4.4.5 Nuevo Plan de Acción de Economía Circular

En marzo de 2020, la Comisión Europea adoptó el nuevo Plan de Acción de Economía Circular, donde se da prioridad a los sectores por su influencia en el uso intensivo de recursos y por su

potencial en reducción y reutilización, para aprovechar las posibilidades de aumentar la eficiencia de los materiales y reducir las repercusiones climáticas.

La Comisión adoptará una nueva estrategia para un entorno construido sostenible de carácter integral. Esta estrategia velará por la coherencia entre todas las áreas de actuación, tales como el clima, la energía y la eficiencia en el uso de los recursos, la gestión de los residuos de construcción y demolición, la accesibilidad, la digitalización y las capacidades. Promoverá los principios de la circularidad en todo el ciclo de vida de los edificios mediante las siguientes actuaciones:

- Abordará las prestaciones de los productos de construcción en materia de sostenibilidad en el contexto de la revisión del reglamento sobre los productos de construcción, y en particular la posibilidad de introducir requisitos sobre el contenido reciclado para determinados productos de construcción, teniendo en cuenta su seguridad y funcionalidad.
- Promoverá medidas para mejorar la durabilidad y adaptabilidad de los activos construidos en consonancia con los principios de la EC aplicables al diseño de edificios y elaborará libros digitales del edificio.

Diagrama 10.- Nuevo Plan de Acción para la Economía Circular



Fuente: Comisión Europea “Nuevo Plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y más competitiva” Bruselas, 2020.

En el contexto de la iniciativa Construcción 2020 de la Comisión Europea, el Grupo Temático 3 sobre “Uso sostenible de los recursos” – reuniendo a un grupo diverso de stakeholders relevantes de la Comisión Europea, de los Estados Miembros y la cadena de valor de la construcción – ha dado varios pasos hacia un enfoque de EC y una mayor eficiencia de los recursos en el sector de la construcción.

Este documento proporciona un conjunto de principios para el diseño circular de edificios con el objetivo de que a través del diseño se puedan generar menos residuos de construcción y demolición, así como facilitar la reutilización y el reciclaje de materiales, productos y elementos

de construcción, y ayudar a reducir los impactos ambientales y los costos del ciclo de vida del edificio.

El documento está alineado con el lanzamiento de Level(s), un marco de informes voluntarios para mejorar la sostenibilidad de los edificios. En particular, este documento contribuye al Macro Objetivo 2 del Level(s): Eficiencia en el uso de los recursos y los ciclos de vida circulares de los materiales. Trata sobre la reducción de residuos, la optimización del uso de materiales y la reducción de impactos ambientales de los diseños y la elección de materiales a lo largo del ciclo de vida.

Es posible alcanzar este Macro Objetivo a través de ciertas herramientas de ciclo de vida:

1. Durabilidad: Planificación de la vida útil del edificio, fomentando un enfoque de mediano a largo plazo en la vida de diseño de los principales elementos del edificio, así como sus ciclos de mantenimiento y reemplazo asociados.
2. Adaptabilidad: Para alargar la vida útil del edificio en su conjunto, facilitando la continuación del uso previsto o a través de posibles cambios futuros en el uso, con un enfoque en el reemplazo y la renovación.
3. Reducción de los residuos y gestión de alta calidad: Facilitar el futuro uso circular de los elementos, componentes y partes de los edificios, con un enfoque en la producción de menos

residuos y en el potencial de reutilización, o reciclaje de alta calidad de los principales elementos de construcción después de la deconstrucción.

Esto incluye esfuerzos a lo largo de la cadena de valor para promover:

1. La reutilización o el reciclaje de recursos de manera que el valor de la mayoría de los materiales se retiene y se recupera al final de la vida útil de un edificio.
2. El diseño de componentes y el uso de diferentes métodos de construcción para influir en la recuperación para la reutilización o el reciclaje. Los edificios sostenibles son aplicables a todos los actores a lo largo de la cadena de valor.

Aplicando estos conceptos se llega a los siguientes 9 Principios generales de Diseño:

1. Los principios de diseño de la EC y los edificios sostenibles son aplicables a todos los actores a lo largo de la cadena de valor.
2. Las opciones sostenibles deben tener en cuenta los costos totales del ciclo de vida, el rendimiento financiero y no financiero de inversiones.
3. Deben existir o desarrollarse modelos de negocio viables para cada operador económico en el suministro o cadena de valor.
4. Los principios deben aplicarse teniendo en cuenta la proporcionalidad: los beneficios deben superar los costos.

5. Se necesita un mejor conocimiento sobre las técnicas de construcción para facilitar la deconstrucción y mejorar la durabilidad y adaptabilidad de un edificio.
6. Durabilidad: La durabilidad de los edificios depende de un mejor diseño, un mejor desempeño de los productos de construcción y el intercambio de información.
7. Adaptabilidad: Prevenir la demolición prematura de edificios mediante el desarrollo de una nueva cultura de diseño.
8. Reducir los residuos y facilitar la gestión de residuos de alta calidad.
9. Diseñar productos y sistemas para que puedan reutilizarse, repararse, reciclarse o recuperarse fácilmente.

4.4.6 Certificaciones de sostenibilidad en la edificación

4.4.6.1 MCI: Indicador de Circularidad de Materiales

La Fundación Ellen MacArthur y Granta Design desarrollaron un Indicador de Circularidad de Materiales (MCI), como parte de un Proyecto de Indicadores de Circularidad más amplio, que permite a las empresas identificar el valor circular adicional y evaluar el desempeño de sus productos y materiales, incluyendo materiales biológicos y su combinación con materiales técnicos.

La metodología abarca los flujos de materiales y otros indicadores complementarios, permitiendo a las empresas estimar qué tan avanzadas están en cuanto a sus productos y materiales. El Indicador de Circularidad del Material mide qué tan restaurativos y regenerativos

son los flujos materiales de un producto o empresa y permite evaluar los riesgos ambientales, normativos y de la cadena de suministro.

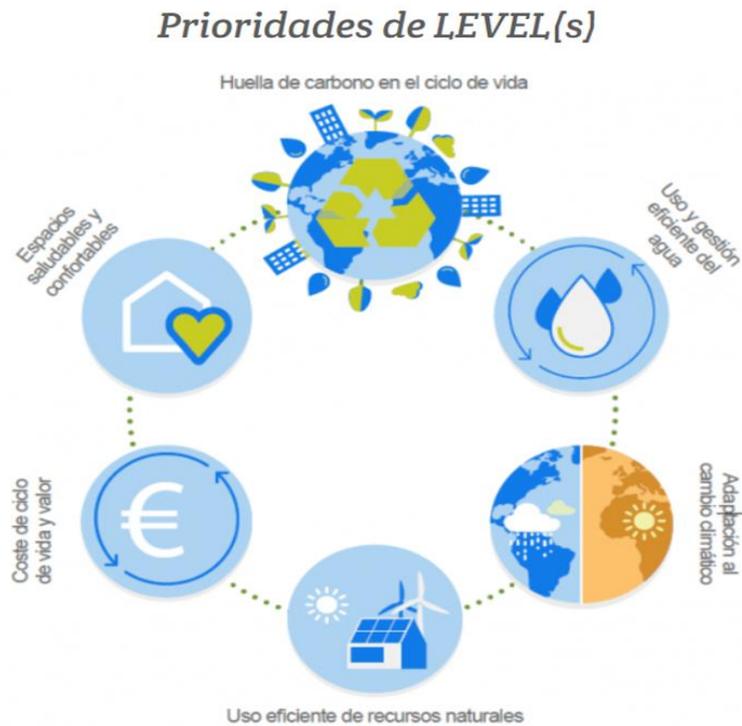
4.4.6.2 Level(s): Un marco guía para informes de sostenibilidad de los edificios en Europa.

Level(s) es una herramienta desarrollada por la Comisión Europea, que se define como un marco informativo de medición, que proporciona un lenguaje común y permite evaluar los edificios a lo largo de su ciclo de vida. Persigue facilitar la adopción de medidas a nivel de la edificación, que puedan contribuir claramente a la consecución de objetivos más generales de la política medioambiental europea.

Su principal objetivo es estudiar el comportamiento medioambiental, pero también permite evaluar otros aspectos como la salud y el bienestar, el coste del ciclo de vida y los posibles futuros riesgos para el comportamiento.

A través de una serie de indicadores, se evalúa a los edificios desde el punto de vista de la sostenibilidad, con el objetivo último de ampliar el uso que se realiza en Europa de dos herramientas esenciales: el análisis del ciclo de vida (ACV) y el análisis del coste del ciclo de vida (ACCV).

Diagrama 11. Prioridad de Level(s).



Fuente: GBC España.

Level(s) está estructurado de la siguiente manera:

1. Macro Objetivos: Se centra en seis puntos conflictivos relacionados con el impacto ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida de los edificios: emisiones de gases de efecto invernadero, eficiencia de recursos, uso del agua, salud y confort, resiliencia y adaptación al cambio climático, coste y valor.

2. Indicadores básicos: un conjunto de nueve indicadores comunes para medir el comportamiento de los edificios que contribuyen a lograr cada uno de los Macro Objetivos.
3. Herramientas relativas al ciclo de vida: un conjunto de cuatro herramientas para la generación de escenarios y una herramienta para la recogida de datos, además de una metodología de análisis del ciclo de vida (ACV) simplificada, diseñadas para respaldar un análisis más holístico del comportamiento de los edificios basado en un enfoque que abarque todo el ciclo de vida.
4. Calificación del valor y del riesgo: un sistema de listas de comprobación y calificación que ofrece información sobre la fiabilidad de las evaluaciones del comportamiento realizadas utilizando el marco Level(s).

4.4.6.3 BREEAM: Método de evaluación ambiental de los edificios.

La certificación BREEAM, en inglés Método de Evaluación Ambiental BRE, es un conjunto de sistemas de validación y certificación, que constituye la primera herramienta de evaluación ambiental disponible comercialmente para edificios y permite evaluar los aspectos ambientales de la sostenibilidad.

Esta certificación proporciona un marco holístico de evaluación de la sostenibilidad, midiendo el valor sostenible en una serie de categorías y validando este desempeño con la certificación de terceros. Cada una de estas categorías aborda factores influyentes, incluido el diseño de bajo impacto y la reducción de emisiones de carbono, la durabilidad y resiliencia del diseño, la adaptación al cambio climático, el valor ecológico y la protección de la biodiversidad.

BREEAM determina el desempeño logrado por un proyecto y sus partes interesadas, a través de una calificación, medida con respecto al estándar BREEAM y sus puntos de referencia, permitiendo la comparabilidad entre proyectos, garantizando el desempeño, la calidad y el valor del activo. Existe la certificación BREEAM para Obra Nueva, Reforma y Acondicionamiento, y BREEAM En Uso; cada estándar utiliza un marco común que se adapta a la ubicación del activo y respalda la coherencia y la comparabilidad internacional.

4.5 ANÁLISIS DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCION EN EL URUGUAY

Para obtener un primer flujo de información acerca del impacto, conocimiento y/o implementación de principios de EC en las Empresas Constructoras y Estudios de Arquitectura en Uruguay, se realizó una encuesta dirigida que a su vez sienta las bases como herramienta complementaria para la evaluación de circularidad de una obra de construcción como pretende este trabajo.

La metodología implementada se basa en el envío de un listado de preguntas cualitativas acerca de distintos aspectos concernientes a la aplicación de la EC en una obra. La encuesta fue enviada por medios digitales a unas 30 organizaciones.

La encuesta abarca todos los aspectos que deben ser manejados en modelos de EC como son los aspectos estratégicos y de planificación, las personas y sus competencias, procesos operativos, compromiso externo y aspectos de diseño en las obras de construcción.

En ella se diseñaron preguntas para cada una de las categorías mencionadas orientadas al estudio de arquitectura o empresa constructora según corresponda, siendo las preguntas de estrategia, planificación y diseño más orientadas a los estudios de arquitectura y las relacionadas a operaciones y compromiso externo aplicadas a las empresas constructoras, los aspectos de competencias y compromisos externo fueron aplicadas para ambos rubros de empresas.

Al analizar los resultados de las respuestas se obtiene una visión de la situación actual del grado de implementación de EC en el sector, con los siguientes comentarios:

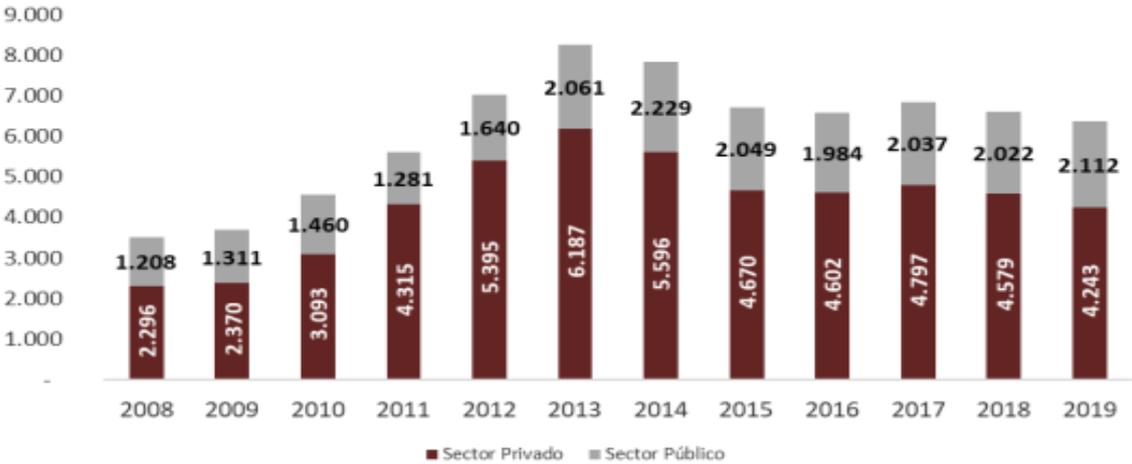
- A nivel estratégico existe una tendencia favorable a incorporar principios de EC en las empresas del sector, esto también se ve reflejado en los resultados de aplicación de herramientas de innovación y desarrollo que aporten circularidad en las obras de construcción.

- Se encuentra poco desarrollado el proceso de compras aplicado a EC, la selección de proveedores que trabajen bajo este mismo esquema, el reuso de los materiales de salida, la contratación de activos con tecnologías limpias, entre otros.
- Con respecto a las competencias y formación del personal en EC, las empresas de gran porte tienen detectado como necesidad de capacitación a las personas sobre los principios de EC, y las empresas de menor tamaño aun no lo consideran.
- No está desarrollado un mecanismo de medición a través de indicadores para medir los resultados de acciones relacionadas con la circularidad.
- Existe una tendencia en apoyar las acciones vinculadas a EC por parte de la dirección de las empresas, también se observa la orientación a satisfacer los requerimientos de los clientes que plantean realización de obras bajo los principios de EC.
- Se toma en cuenta acciones para mantener las obras en el tiempo, también existe una tendencia favorable en la maximización de recursos y disminución del impacto ambiental. Sin embargo, por motivos económicos son pocas las obras que contemplan la generación y uso de energías renovables.

De acuerdo a la información publicada por el Banco Central del Uruguay (BCU), la inversión total (formación bruta de capital fijo) en el sector de la construcción habría ascendido a aproximadamente 6.000 millones de dólares corrientes en 2017. Es importante señalar que esta

cifra de inversión en construcción representa cerca del 60% del total de la inversión en la economía. Según el informe de Cuentas Nacionales para el 2021, el sector representa el 5 % del PBI Nacional.

Gráfica 11. Inversión en Construcción por Sector Institucional



Millones de dólares. Fuente: CCU

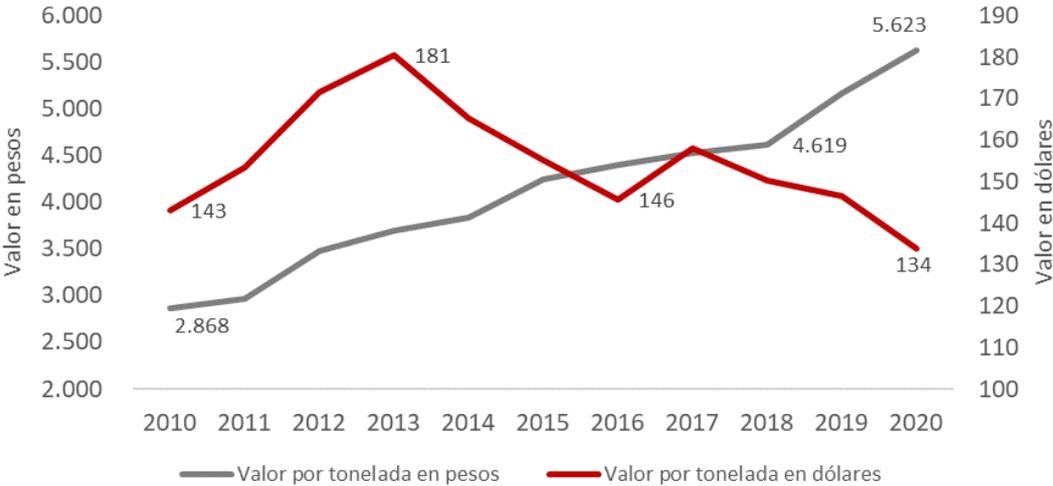
Esto se refleja a través de los datos de producción de Cemento Portland⁵, de acuerdo al informe del Departamento de Estudios Económicos de la Cámara Uruguaya de la Construcción en su estudio de producción nacional de Cemento Portland (2021), donde se explica que la producción de este insumo podría considerarse un “proxy adelantado” del dinamismo de la actividad de la construcción, al ser el cemento uno de los principales insumos utilizados en la construcción. El informe señala que de acuerdo a información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística en 2020 se habría constituido un récord de producción local de cemento portland desde 2011, alcanzando las 847.900 toneladas.

⁵ Insumo básico para la producción de hormigón, además consume recursos como minerales, agua, energía, grava y piedras.

Esta evolución se asociaría al desempeño del sector de la construcción y al crecimiento de su Valor Agregado Bruto del año 2020, explicado principalmente por el dinamismo generado por la obra de la segunda planta de UPM y las obras anexas (Ferrocarril Central, rutas y puentes).

De acuerdo al INE en 2020, en promedio, el valor de producción de cemento portland por tonelada habría alcanzado a 5.620 pesos uruguayos, equivalente a 134 dólares. En enero-junio 2021, el valor promedio de producción se habría ubicado en 6.129 pesos uruguayos, unos 141 dólares. En el siguiente gráfico se aprecia la variación del precio por toneladas en los últimos 10 años.

Gráfica 12. Valor de la Producción de Cemento Portland por Tonelada



A su vez, la producción de portland se vuelca en su gran mayoría al mercado local, en promedio históricamente el 87% de la comercialización de cemento portland producido en Uruguay ha correspondido a ventas en el mercado interno, mientras que el restante 13% se ha adjudicado a exportaciones.

Considerando los montos de inversión que el sector representa en la economía de Uruguay, entendemos que recoge una parte importante de la problemática planteada, como la escasez proyectada de las materias primas, la oscilación de sus precios, el uso de recursos naturales, energía y externalidades negativas como contaminación, generación de residuos y emisiones de GEI.

De acuerdo a las estimaciones realizadas a partir de registros indirectos muestran que la generación de residuos de la construcción y demolición en Montevideo son de al menos 255.000 toneladas para 2018 (Roda, Tecnalía, 2019). Sin embargo, si se consideran los residuos sólidos dispuestos en rellenos informales la generación real sería significativamente mayor. Realizando una nueva estimación a partir de ratios de generación por habitante y por PBI, el resultado es que Montevideo generaría unas 450.000 toneladas por año, por lo que se conoce el destino de aproximadamente un 56% de lo que se genera.

4.5.1 Gestión de los Residuos de Obra Civil (ROC) en Montevideo

En septiembre de 2021 se publica como Nota Técnica 2288 del Banco Interamericano de Desarrollo, titulada “De Residuos a Recursos: Residuos de construcción y demolición en Montevideo”. Allí se analiza la situación de la gestión de los residuos provenientes de la industria de la construcción, además se proponen líneas de acción así como la elaboración de un Plan para la gestión de ROC.

Este informe forma parte de la serie “Aportes para impulsar la Economía Circular y mejorar la gestión de los residuos sólidos en Uruguay” que el BID generó, en el marco de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos aprobada en septiembre de 2019. El objetivo de la serie es presentar elementos de reflexión, perspectivas y posibles líneas de acción, para lo cual se han estudiado cinco temáticas sobre la gestión de residuos sólidos en Uruguay, siendo una de ellas la de Residuos de Obras de Construcción

Según este documento de análisis propositivo, la gestión actual de los ROC en Montevideo está generando graves problemas ambientales, sobre todo por el impacto de la disposición final desmesurada en el relleno sanitario departamental, que resulta en infraestructura subutilizada y en la reducción sustancial de su vida útil. La gran mayoría de los ROC que no se disponen en el relleno se destina a disposición final en terrenos con poco o nulo control, lo cual provoca impactos ambientales muchas veces irreversibles.

Con el fin de cambiar esta situación, este informe propone una estrategia alineada con la EC, que implica una serie de acciones con tres grandes objetivos:

1. Materializar infraestructura de valorización y disposición final: Eliminar el ingreso de ROC en el relleno sanitario de Residuos Sólidos Urbanos de Montevideo e incrementar la preparación para la reutilización, el reciclado y la valorización de ROC incorporando la infraestructura necesaria. Se deberá realizar la supresión inmediata del ingreso de tierras de excavación, la implementación de infraestructura fija y móvil para la valorización de fracción

pétreo de ROC, la construcción de un sitio de disposición final adecuado para materiales inertes y para el depósito temporal de ROC no valorizables hasta alcanzar un escenario de circularidad total.

2. Consolidar un marco de gobernanza y regulación: Reducir la informalidad en la gestión; mejorar la gestión administrativa, las acciones de fiscalización, la transparencia de la información y fomentar el mercado verde de los productos reciclados. Se deberá generar una estructura institucional dentro del gobierno departamental de Montevideo donde se centralice la gestión de ROC y se desarrolle una normativa departamental específica para la regularización de esta corriente de residuos.

3. Avanzar en la capacitación y sensibilización sobre el tema: Fomentar la prevención de la generación, la reutilización y el consumo de áridos recuperados mediante la capacitación, la sensibilización y la generación de conocimiento de soluciones avanzadas. Se deberá capacitar a los agentes implicados en toda la cadena de valor de los ROC.

Considerando que el objetivo para esta corriente de residuos es la recuperación de los materiales y la disminución de la gestión informal, el documento plantea la necesidad de avanzar en el diseño e implementación de un plan estratégico para gestión de ROC y en la definición del modelo de gestión que se adoptará para asegurar la financiación del plan.

Dada la situación actual de los ROC en Montevideo, que en su mayoría son gestionados de forma ineficiente, incontrolada y con impactos ambientales negativos, la CCU y la IM realizaron un estudio situacional. Como antecedente, entre septiembre de 2019 y febrero de

2020 realizaron un diagnóstico, un análisis de mejoras y una hoja de ruta para 2030 basada en principios de EC, con el fin de alcanzar una tasa de valorización de los recursos del 60%, y que menos del 5% de los ROC generados se terminen disponiendo en rellenos para residuos urbanos.

Este diagnóstico constaba de 3 ejes principales y algunos lineamientos para cada uno:

1. Marco Gobernanza y Regulación: Creación de estructura y procedimiento para la regulación, control, fiscalización y seguimiento de los ROC dentro de la IM, para lo cual se requerían 2 acciones específicas: La creación de una oficina de coordinación, seguimiento y control dentro de la Intendencia de Montevideo y el desarrollo de la normativa que regula la gestión de ROC en Montevideo.
2. Infraestructura: Diseño e implantación de infraestructura básica de tratamiento y disposición final de ROC e implantación de infraestructura de tratamiento de ROC.
3. Capacitación y Sensibilización: Formación de técnicos de la IM implicados en el control y en el fomento del uso de los materiales valorizados de ROC. Sensibilización sectorial y buenas prácticas de clasificación en origen de ROC y uso de materiales reciclados y generación de nuevo conocimiento de soluciones avanzadas que fomenten la circularidad de los materiales recuperados de los ROC.

El objetivo final es la redacción de un documento con aportes estratégicos para el Plan Departamental de Montevideo para la Gestión de Residuos de Obra Civil (PGROCS).

En Marzo de 2022, se realiza en evento virtual “Circularidad Sustentable en la Construcción”, incluyendo la situación actual del Modelo de Gestión de ROC en Montevideo, aspectos críticos del Modelo de Gestión de ROC a nivel internacional, con los principales aspectos que ha de incluir el Plan: Clasificación de tipologías de residuos, Infraestructuras de valorización, Sitios de disposición final autorizados y Criterios de aceptación, Obligaciones de gestión por tipología de obra, Mecanismo de control vinculado a la obtención del permiso de construcción, Fomento del uso de Materiales procedentes de la Valorización de ROC, Incentivos, Líneas de Subvención, Desincentivos, Promociones y Obligaciones.

4.5.2 Iniciativas y Experiencias

En los últimos años en Uruguay se han impulsado iniciativas a nivel general dirigidas al desarrollo de aspectos vinculados a la sostenibilidad y EC generando algunas políticas, proyectos, programas y regulaciones que han sentado ciertas bases para comenzar a recorrer el camino hacia industrias más sostenibles.

La iniciativa Uruguay + Circular es una propuesta del Ministerio de Ambiente que “promueve un cambio de paradigma en nuestra concepción y vínculo con los residuos, desde una mirada de EC, participación y responsabilidad compartida. Una circularidad que nos invita a concebir

los residuos como recursos, identificar la oportunidad de transformarlos, apostar a su revalorización y buscar como primer paso minimizar su existencia”.

El programa Uruguay Circular, llevado adelante por el Ministerio de Industria, Energía y Minería, el Ministerio de Ambiente, la Agencia Nacional de Desarrollo (ANDE), la Alianza para la Acción hacia una Economía Verde (PAGE) Uruguay y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI), busca apoyar actividades de fomento de la EC y poner en marcha proyectos circulares, cofinanciando con fondos no reembolsables actividades que promuevan mejoras de productividad y competitividad en las empresas.

Dentro de este marco, se desarrollan los programas Oportunidades Circulares, y el Premio Uruguay Circular, como herramientas que “buscan promover la transición eficaz hacia una EC contribuyendo a la mejora de la productividad y rentabilidad de las Mipymes nacionales. Basado en modelos sostenibles, propuestas innovadoras de valor circular y fomentando procesos creadores de valor en cadenas nacionales”.

El Sistema Nacional de Transformación Productiva y Competitividad- Transforma Uruguay, fue creado en 2017 con la finalidad de promover el desarrollo económico productivo e innovador con sustentabilidad, equidad social y equilibrio ambiental y territorial. Se asignó a Transforma Uruguay cometidos de propuesta de prioridades, políticas y estrategias, diseño e implementación de programas e instrumentos, haciendo énfasis en iniciativas con lógica de EC.

Apoyadas en estas iniciativas, en el sector de la construcción vienen surgiendo empresas que han encontrado una oportunidad de negocio vinculada a la EC, en su mayoría orientadas a la utilización de residuos como recurso para producir materiales que pueden ser aplicados en la industria de la construcción.

Se destacan algunas como Uruplac, una empresa que realiza chapas onduladas y placas rígidas, utilizando residuos provenientes de la industria del plástico con posibilidades de ser utilizadas en cubiertas y paredes.

Un aislante termo acústico, el Eco Aislante, que se coloca de manera proyectada en el interior de los tabiques de yeso, realizado en base a celulosa reciclada proveniente de descarte de papel y cartón.

La Cooperativa Productora de Ladrillos Ecológicos Coople, confecciona ladrillos modulares, en alianza con la curtiembre Bader, generadora de residuos de lodos y cenizas en sus procesos que son utilizados como materia prima para producir estos ladrillos, además de contener escombros molidos como componente.

No solo hay una ausencia de cocción en el proceso productivo, evitando la quema y los residuos en el proceso, sino que, por sus características y prestaciones, permite reducir la utilización de arena, cemento portland, varillas y madera para construir los muros en obra.

Por su parte Naturplus, es una empresa que se encarga del tratamiento y reciclaje de neumáticos y cámaras NCFU, producto que se utiliza como aditivo para el asfalto en la construcción de carreteras.

La empresa RCD Reciclaje, se encuentra desarrollando varios productos para la construcción, provenientes de Residuos de Obra Civil, además de brindar un servicio de gestión de los ROCs en las obras.

Por otro lado, la empresa Arenas de Vidrio, tiene su emprendimiento de generación de arena de vidrio, sustituto de la arena de origen natural- componente básico del hormigón y los morteros- recurso no renovable. Esta arena de segundo ciclo proviene del triturado de envases de descarte.

4.5.3 Antecedentes de Medición de Sostenibilidad de Obras de Construcción en Uruguay

4.5.3.1 Modelo de Sustentabilidad Ambiental de la Vivienda (SUAMVI)

Entre junio de 2015 y septiembre del 2020, el Departamento de Planificación de la Intendencia de Montevideo desarrolló el modelo llamado SUAMVI, a raíz de la necesidad de generar una herramienta que facilitara una evaluación para llevar adelante el Decreto N° 32.826 (Junta Departamental de Montevideo, 2009), por el cual se exonera del Impuesto de Contribución Inmobiliaria a las construcciones que incorporen métodos y tecnologías que favorezcan y protejan el medioambiente. A través de la Resolución N°3.004/09, se crea el Grupo de

Sustentabilidad Ambiental en las Edificaciones y en los Espacios Públicos, encargado del diseño de este modelo de evaluación.

Fue la primera iniciativa de realización de un mecanismo para la autoevaluación y evaluación externa de la sustentabilidad ambiental de proyectos de obra nueva y edificaciones nuevas terminadas, con el foco en parámetros exclusivamente ambientales, como aspectos relacionados con el consumo responsable y racional de la energía, así como la disminución de la contaminación del suelo, agua, aire, y una gestión adecuada de residuos sólidos.

Los objetivos planteados por este modelo son:

1. Promover y estimular el reconocimiento de los aspectos ambientales y las buenas prácticas para su control durante la obra y durante el edificio en funcionamiento.
2. Promover el ahorro económico individual y colectivo, mediante la reducción del consumo de recursos no renovables, la utilización de recursos renovables y el aprovechamiento de la infraestructura instalada de la ciudad.
3. Otorgar un reconocimiento a los proyectos que se destacan por incorporar prácticas y tecnologías a favor de la sustentabilidad ambiental.
4. Fomentar la innovación en relación con la sustentabilidad ambiental de las edificaciones en el ámbito nacional.

El modelo se compone de Requisitos, cuyo cumplimiento debe ser aportado en el documento “Reporte Suamvi” que da respuesta a las preguntas de todas las Áreas de Evaluación, utilizando los Criterios de Evaluación descritos para cada una de ellas, además de la “Planilla Suamvi”, componente del modelo que permite la evaluación del proyecto en relación con los requisitos expuestos.

Cada Área mencionada, se relaciona con un aspecto vinculado a la sostenibilidad ambiental: Implantación, Materiales, Agua, Aire, Energía, Residuos y Gestión de Obra. Cada Área será valorada de acuerdo a ciertos Criterios de Evaluación que la componen, los cuales se evalúan con puntajes determinados según una Tabla Guía. Estos Criterios están ponderados por su peso relativo dentro de cada área y cada una tiene el mismo peso en el total.

4.5.3.2 Diagnóstico de la Circularidad del Sector Construcción. (CCU)

En diciembre de 2021 se desarrolló un proyecto para medir la circularidad por parte de la CCU junto a la Consultora Reacción. El proyecto consistió en la realización de una primera versión de un índice que permitiera medir la circularidad de una obra de construcción, basado en la herramienta Circulitycs de la Fundación Ellen MacArthur. Esta herramienta fue inicialmente probada en obras de construcción edilicia y vial.

Un objetivo perseguido por este Diagnóstico es que los distintos actores puedan ver las oportunidades para crear valor, siendo para ello clave la planificación y la capacitación. Poder

visualizar las buenas prácticas a fortalecer y desarrollar, como por ejemplo la industrialización de procesos para lograr insumos prefabricados, las certificaciones, el uso de metodología BIM, el diseño para la longevidad, la cooperación entre actores y empresas, la incorporación de insumos recuperados, la capacitación, la servitización, el mantenimiento, entre otros.

El índice se desarrolla en dos categorías teniendo en cuenta las que propone la Ellen MacArthur Foundation en Circulytics: los Facilitadores del Cambio y los Resultados de la empresa, que serán evaluadas según determinados temas que las componen.

La categoría facilitadores evalúan los aspectos que permiten que suceda la transición, las estrategias de la empresa en relación a la cadena de generación de valor y puntualmente cuales son los objetivos concretos. En esta categoría se evalúan los temas: Estrategias y Planificación, Innovación, Personas y Competencias, Operación y Compromiso Externo. La puntuación de los facilitadores se obtiene a partir de la suma ponderada de los cinco temas, teniendo cada uno diferente peso en la categoría.

La categoría Resultados, se basa también en la metodología de la EMF pero también en +Circular, una metodología desarrollada en Uruguay para la industria del plástico. Se evalúa según los temas: Servicios, Materiales y Productos, Agua, Energía y Transporte, Activos, Planta y Equipos, que también son ponderados por considerarse que tienen distinto peso dentro de la categoría. Ambas categorías tienen el mismo peso en el puntaje del índice, referenciando la propuesta de Circulytics, y adaptándola a la realidad nacional del sector.

5. INDICE DE CIRCULARIDAD PROPUESTO

Para la determinación del Índice⁶ se establecen una serie de indicadores que recogen los principios de EC antes mencionados, a través de cada uno se miden las acciones concretas en las etapas de diseño y el proceso constructivo para lograr cumplir con estos principios.

Concretamente se analiza el nivel de circularidad a través las categorías: Estrategia y Planificación, Diseño, Compromiso con Partes Interesadas, Competencias del Personal, Flujo de Materiales, Consumo de Agua, Utilización de Fuentes de Energía, Uso del Suelo, Reutilización de las Estructuras Preexistentes, Servitización y la Vida Útil del edificio. De esta manera, cuanto mayor sea el nivel de circularidad en las acciones concretas recogidas a través de los indicadores se estará adhiriendo con mayor fuerza a las bases de la EC.

5.1 Alcance

El objetivo de la aplicación del índice es conocer el estado de situación del proceso constructivo, desde la etapa de diseño hasta la finalización de la obra identificando fortalezas y oportunidades de mejora.

⁶ Anexo C

El fin último de la aplicación es que mediante el nivel obtenido se alimente el debate a nivel de diseño y ejecución y se puedan comparar los resultados en distintas obras con diferentes sistemas constructivos.

Se pretende que el nivel de circularidad aumente a lo largo del tiempo, mediante la mejora en el diseño y la gestión de obra en torno a la sustentabilidad ambiental, implementando medidas que aumenten los resultados de los indicadores y a la vez sirvan de disparador para proponer enfoques creativos e innovadores que colaboren en aproximarse al 100 % de circularidad. El nivel de circularidad que se pretende medir no abarca la etapa de utilización del edificio.

5.2 Categorías e Indicadores

5.2.1 Estrategia y Planificación

Se consideran claves los aspectos relacionados a EC dentro del marco existencial de las empresas (misión, visión y estrategia) debido a que definen la concepción y ejecución de la construcción a evaluar. Entre otros aspectos a considerar en esta categoría se incluye la definición de Objetivos Estratégicos relacionados con EC, los proveedores con principios de EC considerados en los pliegos y la estimación de la reducción de la Huella de Carbono usando

como criterio de medición la herramienta generada por la Corporación Nacional para el Desarrollo (CND)⁷.

Indicadores:

Objetivos: Cantidad de objetivos con principios de EC / Cantidad de objetivos totales
Proveedores: Proveedores con principios en EC / Total de proveedores
Huella de Carbono: Estimación de Reducción de HC / Medición actual de HC

Como criterio de evaluación se define que al tener al menos un objetivo estratégico relacionado con EC se asigna como valor del indicador 100%. Para el indicador de proveedores con principios de EC se establecen franjas de medición de cumplimiento de 0 %, 25 %, 50 %, 75 % y 100%. En cuanto al indicador de HC se realiza una medición inicial para luego tomar medidas de mitigación, considerando estas medidas se hace una estimación de la reducción de HC alcanzada, resultado se obtiene directamente a partir de la relación entre la estimación de la reducción y la medición inicial.

⁷ Anexo E

5.2.2 Compromiso con la comunidad y el medio ambiente

En estos indicadores se evalúa el impacto de la obra con su entorno, entre ellos se tiene en cuenta la comunidad y el medio ambiente. Para el primer indicador asigna un valor de 100% para el cumplimiento de todos los requisitos regulatorios obligatorios, en caso contrario se aplica 0%. Con respecto a las certificaciones de eficiencia, las empresas constructoras involucradas deben tener al menos una certificación para lograr el 100% en la medición, si no contaran con ninguna corresponde 0%.

Indicadores:

Cumplimiento de leyes: Cumplimiento con los requisitos mínimos regulatorios
Certificaciones: Certificaciones de Eficiencia de Recursos

5.2.3 Personas y competencias.

Se evalúa la incorporación de conocimientos sobre EC del personal involucrado en la realización de la obra. Otorgando un puntaje de acuerdo a la cantidad de personas que participa en el proyecto y cuenten con alguna capacitación en la materia, el indicador de capacitación sobre EC planteado es el siguiente:

Indicador:

Circularidad en Capacitación: Personas capacitadas en EC / Personas que participan en el proyecto

5.2.4 Diseño de la Obra



Dentro de los aspectos considerados en el diseño de la obra se mide la cantidad elementos prefabricados incorporados para facilitar la deconstrucción, la previsión de la gestión y la clasificación de residuos, el plan de mantenimiento para la edificación, el uso de herramientas informáticas relacionadas con EC y la incorporación de estructuras preexistentes.

El indicador de Deconstrucción se vincula con el Diseño de la Obra ya que debe tener un perfil modular desmontable y reutilizable de forma de alinearse con los principios de EC. Son claves los conceptos de reutilización de componentes y la introducción de materiales renovables o reciclados.

Con respecto al indicador de Reciclaje y de Plan de Mantenimiento, se evalúa a través de preguntas cerradas, en caso de obtener una respuesta afirmativa corresponde aplicar el 100%, en caso contrario 0%.

En esta etapa se considera que el Software vinculado a la EC, en un sentido amplio, es un instrumento que permite facilitar la aplicación de acciones concretas y su monitoreo en la etapa constructiva. Para medir su implicancia se pondera en función de todos los Software utilizados durante todo el proceso constructivo.

El indicador Uso de Preexistencias evalúa la rehabilitación de infraestructuras y edificios, ya sea de manera parcial o integral, para el mismo uso definido inicialmente en el proyecto o para otro distinto, engloba toda una serie de obras de distinta índole y finalidades que permiten utilizar parte de la construcción ya existente. Por lo tanto aprovechar los recursos ya dispuestos, maximizando su utilización, evitando el uso de nuevos materiales, reduciendo costos e igualando o mejorando las prestaciones.

Se aplican así diversos criterios de EC, como el de aumentar la durabilidad de los productos, la utilización de menos recursos naturales, maximizando la eficiencia, apoyándose en el uso de tecnologías de diseño para obtener una mayor vida útil de la edificación.

Indicadores:

Deconstrucción: Masa de Elementos prefabricados desmontables / Masa Total de materiales

Reciclaje: ¿Se definen acciones para la gestión de residuos en la edificación durante su funcionamiento?
Plan de mantenimiento: ¿Se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo de la edificación?
Herramientas informáticas: Sistemas informáticos relacionados con EC / Sistemas informáticos totales utilizados
Reutilización de Obras Preexistentes = (Mts cuadrados rehabilitados / Mts cuadrados totales afectados a la obra)

5.2.5 Flujo de Entrada y Salida de Materiales.



Siguiendo el Manual de Métricas de la consultora KPMG de 2020, se propone realizar un análisis de los materiales utilizados en el proceso de construcción de una obra. Al realizar la medición de circularidad en el flujo de materiales, se evalúa la capacidad del proyecto constructivo para cerrar los bucles de acuerdo a la metodología del Diagrama de la Mariposa, donde se reutilicen las salidas en forma de subproductos o residuos que se generen en procesos anteriores.

Además, se considera la capacidad de regeneración del Capital Natural mediante la utilización de materiales recuperados o renovables y la no utilización de materiales vírgenes o definidos

como críticos. Por último, se medirá la optimización de recursos como la capacidad de volcar a otros procesos los subproductos o los residuos generados, evitando consumir así nuevos materiales.

Al evaluar la circularidad de flujo se obtendrá un punto de partida en la búsqueda de la optimización del ciclo, mediante mejoramiento del porcentaje de circularidad de cada elemento, comenzando por los más relevantes desde el punto de vista de la masa que representan dentro del total de la obra.

5.2.5.1 Flujo de Entrada de Materiales

Para evaluar las entradas se deberá clasificar cuáles son los principales elementos que configuran el flujo de entrada de materiales a la obra. Es un indicador basado en la masa, esto quiere decir que los flujos de materiales más pesados contribuyen en mayor medida al nivel de circularidad. Se sugiere hacer una lista de los flujos de materiales en orden decreciente.

Para cada material previamente cuantificado, se deberá determinar en cuanto a su origen, a cuál o a cuáles categorías corresponde, ya sea Material Virgen, Material Renovable, Material Recuperado o Material Crítico, que se definen a continuación.

Material Virgen (MV): Se define como lineal, en total oposición al concepto de circularidad. Estos materiales nunca se han usado o consumido previamente, son enteramente primarios. A efectos del indicador, para estos materiales se establece una circularidad de cero.

Fórmula de circularidad por elemento (i):

$$\text{Circularidad del MV (i)} = 0 \%$$

Material Renovable (MR): La entrada de un material Renovable es circular en una cierta porción, ya que se repone o se regenera a través de ciclos ecológicos luego de la extracción.

Regenerativo significa tener la capacidad de restaurar los recursos materiales y mejorar la salud del ecosistema a fin de asegurar la productividad entre otros beneficios.

Fórmula de circularidad por elemento (i):

$$\text{Circularidad del MR (i)} = \text{Masa del MR (i)} / \text{Masa total (i)}$$

Material Recuperado (MREC). La entrada también es circular solo si se recuperó previamente. Se define como fuente secundaria cuando es reutilizada, reacondicionada, remanufacturada o reciclada. La entrada puede consistir en un contenido total o parcialmente recuperado, por lo que se deberá analizar los distintos materiales que la conforman.

Fórmula de circularidad por elemento (i):

$$\text{Circularidad del MREC (i) (\%)} = \text{Masa del MREC (i)} / \text{Masa total (i)}$$

Material Crítico (MC): Dentro de cada uno de los elementos de entrada se deberá identificar los materiales críticos que contiene, estimándose la masa para el posterior cálculo con una ponderación negativa en relación al total de materiales utilizado en la obra.

Listado de Materiales Críticos

El primer paso es identificar, dentro de la entrada lineal definida, qué masa de la entrada lineal total es crítica. Los materiales críticos tienen una propensión a la escasez en el futuro cercano y son difíciles de sustituir sin perjudicar la funcionalidad del producto. Varias instituciones han identificado materias primas críticas o escasas, se recomienda utilizar el listado dado por la Unión Europea (Deloitte Sustainability, 2020), donde se define como críticos a los siguientes: Antimonio, Barita, Berilio, Bismuto, Borato, Cobalto, Fluorita, Galio, Germanio, Hafnio, Helio, HREEs, Indio, LREEs, Magnesio, Grafito, Caucho, Niobio, PGMs, Roca de Fosfato, Fósforo, Escandio, Silicio, Tántalo, Tungsteno, Vanadio, Bauxita, Titanio y Litio

Fórmula de circularidad por elemento (i):

$$\text{Circularidad del MC (i)} = (\text{Masa del MC (i)} / \text{Masa total (i)}) * (-1)$$

Fórmula de entrada.

Para obtener el porcentaje de Circularidad Total de Entrada se realiza la sumatoria de los porcentajes de circularidad de cada elemento (i) ponderado. Esta ponderación se obtiene

mediante la relación de la masa del elemento (i) entre la masa total de materiales que configuran el flujo de entrada a la obra.

Para cada elemento (i):

$(\text{Circularidad MR (i)} + \text{Circularidad MREC (i)} + \text{Circularidad de MC (i)}) * \text{Masa (i)} / \text{Masa total de entradas de materiales.}$

Indicador

$\text{Circularidad de Flujos de Entrada} = \sum \text{Circularidad elementos ponderados (i)}$

5.2.5.2 Flujos de Salida de Materiales.

De forma análoga se debe evaluar el flujo de salida, listando los principales materiales de acuerdo a la masa, para luego efectuar primero un análisis de su recuperación y luego una medición de la masa real que se destina a la recuperación de cada uno de ellos. En este tramo se evalúa si existe un potencial de recuperación real a partir de la evaluación de los procesos a los cuales se abastecerá de acuerdo a las salidas de materiales de la obra.

Recuperación Potencial (%)

Para realizar esta estimación será necesario conocer los procesos siguientes al de la obra en construcción que analiza, se recomienda realizar una evaluación técnica con el objetivo de

construir el bucle cerrado que asegure una alta circularidad de los elementos analizados, ya que un potencial alto de recuperación de los materiales implica una elevada capacidad de optimización de recursos y asegurará un buen nivel de regeneración, que a su vez podrá disminuir las entradas de materiales vírgenes en los siguientes procesos.

Para analizar el potencial de recuperación es necesario determinar en qué porcentaje el material de salida puede constituirse en un nutriente que la biosfera pueda absorber en su totalidad de forma natural y segura. De esta manera puede servir de alimento para nuevos materiales naturales renovables; si pudiera convertirse totalmente en nutriente tiene un potencial de recuperación del 100%.

Se evaluará de la misma manera en el caso de que intervenga un proceso técnico para posibilitar la recuperación del material, o si un material puede permanecer como tal en una segunda vida útil de forma técnica y económicamente viable en otro proceso, aquí también se lo considera circular en su totalidad.

La salida se considera lineal si los materiales no se tratan de forma que tengan algún potencial de recuperación técnica, o no existe la capacidad de asegurar que los materiales regresan a la cadena de valor después del término de su vida útil inicial. En este caso su puntaje de circularidad es igual a cero, al igual que si su destino fuera convertirse en combustible o incinerarse, ya que no estaría cumpliendo con el principio de preservación de los recursos.

Para los casos que entran en una postura intermedia, es decir que no son ni totalmente circulares ni lineales, se debe definir el porcentaje de biodegradabilidad o de recuperación técnica. Esto refleja la eficacia combinada para diseñar o tratar la salida de modo que sea recuperable, reparable, reacondicionable, remanufacturable o reciclable.

Recuperación Real (Masa)

Para analizar la recuperación real se considera la masa que se recupera de cada material, que depende en gran medida de la posibilidad de segregar en origen. El nivel de biodegradabilidad y la aplicación de técnicas económicamente viables, facilitará el consumo o incorporación de esos materiales en otros procesos posteriores.

La masa de recuperación total refleja la cantidad de materiales que se recuperan realmente una vez que salen de la obra. La recuperación no es lo mismo que la recolección, después de la recolección, los materiales aún pueden tener como destino el relleno sanitario, o ser incinerados, en ese caso se considerarán lineales.

De la misma forma aquellos materiales que salen de la obra en construcción y no pueden segregarse correctamente para volcarse a otros procesos, no cumplen con los principios de circularidad por lo que deberán considerarse también lineales. Se representa la recuperación

real de cada material que forma el flujo de salida mediante la masa de los materiales que dejan la obra y realmente vuelven a integrarse a la economía.

Indicador de Circularidad de Salida para el elemento (i):

$$\text{Circularidad de Salida (i)} = (\% \text{ Potencial de recuperación (i)}) * (\text{Masa de recuperación real (i)}) / (\text{Masa total (i)})$$

Para los definidos como Materiales Críticos se estima una recuperación potencial del 100 %, de esta forma se busca alentar la adecuada segregación en origen para el tratamiento de recuperación en una etapa posterior en los siguientes procesos del bucle.

Fórmula de salida.

Para obtener el porcentaje de Circularidad Total de Salida se realiza la sumatoria de los porcentajes ponderados de circularidad para cada elemento (i), esta ponderación se obtiene mediante la relación de la masa del elemento (i) entre la masa total de materiales que configuran el flujo de salida a la obra.

Para cada elemento (i):

$$\text{Circularidad de Salida del elemento (i)} / \text{Masa total de salidas.}$$

Indicador:

$$\text{Circularidad de Flujos de Salida} = \sum \text{Circularidad elementos ponderados (i)}$$

5.2.6 Utilización de Recursos



5.2.6.1 Circularidad del agua.

Se consideran a los recursos hídricos finitos y su calidad sumamente importante para mantener los ciclos vitales, por lo que se evaluará en un indicador independiente para desarrollar un análisis más profundo.

Se asume que es sustituible por agua de otros orígenes en el desarrollo de la actividad de construcción mediante sistemas de suministro alternativo. Debido a esto en caso de uso de agua dulce se califica con cero, a modo de penalización dentro del diseño del indicador.

Para determinar la circularidad de este recurso se prioriza el uso de agua no apta para consumo humano o animal, se evalúa la capacidad del proyecto para optimizar el rendimiento de agua dulce en el caso de consumirla, recuperándola o reutilizándola. Vinculado a las acciones que se recogen mediante el indicador, señalamos la acción de regenerar el capital natural, es decir permitir mediante la circularidad de su uso, incrementar la reserva de este recurso desde el punto de vista del Diagrama de Circularidad. Optimizar su uso apunta a maximizar el rendimiento, promoviendo la sustitución por agua recuperada proveniente de otros procesos u

obtenida mediante la recogida de lluvia, buscando incrementar la eficacia y priorizando el reservorio de agua potable.

Para la fórmula del indicador se evalúa el input del material de acuerdo a los siguientes orígenes:

Agua Dulce (AD): agua potable, suministrada por OSE o similar, agua extraída de pozo semisurgente o de cursos como ríos o arroyos.

Agua recolectada (ARCO) mediante sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia

Agua Recuperada (ARCU) de otros procesos, procesos de enfriado, servicios sanitarios, lavados, de sistemas de reaprovechamiento de aguas grises.

Para cada una de ellas se medirán los metros cúbicos consumidos, prorrateando las cantidades por categoría de acuerdo al total, asignando un valor cero al agua apta para el consumo humano o animal.

Indicador:

$\text{Circularidad del Agua} = (\text{Metros cúbicos de ARCO} + \text{Metros cúbicos de ARCU}) / \text{Metros cúbicos totales}$
--

5.2.6.2 Fuentes de Energía.

En una EC la producción de energía depende de fuentes renovables en sustitución de los combustibles fósiles, de acuerdo a los principios expuestos, se busca preservar el Capital Natural disminuyendo el uso de combustibles de fuentes no renovables.

Se le asigna una calificación de cero en el indicador de circularidad a la sumatoria de horas de utilización de maquinaria y equipos con combustión de este tipo. El incremento del indicador de circularidad se logra mediante la sustitución por energía proveniente de fuentes renovables como son: la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica u oceánica.

La medición expresa el contenido de energía y abarca todos los sistemas que son utilizados por el proyecto, a modo de ejemplo: gas, electricidad y combustibles fósiles, de esta forma se incluye una amplia gama de maquinaria y equipos que consumen energía de diversos orígenes.

Se recomienda realizar un listado con las que se utilizaran durante el proceso productivo. Se plantea realizar un análisis de los Caballos de Fuerza (HP) y el tiempo utilizado para realizar una conversión a kilowatts -hora, utilizando la equivalencia de Caballos de Fuerza Mecánicos a KW, llegando a que: $1 \text{ HP} = 0.746 \text{ KW}$.

Luego de realizada la conversión, se obtienen los KW de cada uno de los generadores de energía, totalizando las horas de uso se podrá estimar el consumo en horas de maquinarias y equipos que utilicen combustibles fósiles ya sea gasoil, gas o naftas. Para los equipos que utilicen electricidad el cálculo será directo tomando en consideración las horas de la fuente de

energía utilizadas. Una vez convertido y determinado el consumo de la cada uno de los principales puntos de generación de energía se aplica la siguiente fórmula:

Fórmula de Fuente de Generación de Energía Circular. Para cada elemento (i)

Circularidad de Energía (i) = (KWH producida por combustibles fósiles (i) * (0) + KWH producidos por combustibles de fuentes renovables (i)) / Total de KWH.

Indicador:

Circularidad de las Fuentes de Energía = \sum Circularidad de Energía del elemento (i)

5.2.6.3 Utilización de Suelo Virgen.



Considerando los principios de EC, se reconoce como circular dentro de medición la no utilización de nuevos recursos por lo que se incentiva a reutilizar los existentes. Se medirá dentro de los proyectos constructivos el impacto negativo de aspectos ambientales provocados por el aumento de las superficies impermeables, la modificación de las condiciones originales del terreno por perforaciones y movimientos de tierra, así como la modificación de la dinámica de las aguas subterráneas.

A medida que aumenta la superficie de suelo virgen utilizado, aumenta la superficie impermeable, afectando la escorrentía superficial lo que puede derivar en inundaciones. También sufren alteraciones las dinámicas de aguas subterráneas afectando las napas freáticas, por ello se relaciona negativamente con la circularidad.

Indicador:

Circularidad de Suelo Virgen = (Mts cuadrados de suelo virgen utilizados / Mts cuadrados totales afectados al proyecto) *(-1)

Se trata de una única variable donde la circularidad se encuentra inversamente relacionada con su aumento por lo que aplica una ponderación negativa.

5.2.7 Servitización de Equipos.



El concepto de Servitización refiere a las horas de utilización de los equipos, vinculado con la desmaterialización y el uso de recursos en forma compartida. La circularidad se incrementará mediante la maximización del uso compartido que minimizan la necesidad de utilización de nuevos recursos permitiendo la regeneración del Capital Natural. El concepto de producto-servicio se efectiviza compartiendo los activos, que en definitiva significa dejar de consumir los recursos naturales necesarios para producir activos para que cada uno de los usuarios disponga de su uso de forma individual.

La utilización de activos propios en detrimento de recursos compartidos apoya la linealidad, por lo que en el desarrollo de la fórmula del indicador se le asigna un valor de cero circularidad. Se evalúa como circular la utilización de horas de servicio de activos directamente vinculados con la obra, ya sea vehículos, maquinarias, equipos, herramientas e instalaciones, utilizados mediante contratación con terceros.

Fórmula de Servitización de Activos (i) como servicio.

$$\text{Circularidad de Servitización de Activos (i)} = (\text{Hs utilizadas de Activos propios (i)} * (0) + \text{Hs utilizadas de Activos de terceros (i)}) / \text{Hs totales de uso de Activos}$$

Indicador:

$$\text{Circularidad de Servitización de Activos} = \sum \text{Circularidad de Servitización elementos (i)}$$

5.2.8 Vida Útil Estimada (VUE)



Se incorpora al análisis la Vida Útil Estimada específica a cada elemento del edificio, en relación a la vida útil planificada para la totalidad de la construcción.

En este indicador se asume que existen partes integrantes de la obra que pueden tener una vida útil superior a la estimada para la totalidad. Generan así valor adicional al utilizarlos más allá del destino original, maximizando el uso del recurso y minimizando los impactos ambientales producto de la extensión en la frecuencia de reposición.

Para aplicar esta fórmula se desagrega el proyecto en los componentes más importantes para así analizar y determinar cuales tienen una vida útil distinta a la que se le asigna al total de la obra. Se sugiere trabajar con 50 años como vida útil total estimada, pero de acuerdo a las características constructivas y el destino que tenga el inmueble esta estimación podrá variar.

Es en la etapa de presupuestación dónde se recomienda analizar los principales elementos constructivos en cuanto a su vida útil, para determinar cuál difiere de la asignada a la totalidad de la obra. Esta diferencia podrá tomar valores negativos y positivos, luego se realiza una ponderación presupuestal de cada elemento. La ponderación presupuestal permite categorizar de acuerdo al valor económico del elemento, de forma que tendrán mayor efecto en la circularidad los elementos con mayor valor.

Fórmula de VUE elemento (i):

$$\text{Vida Útil Ponderada (VUP) (i)} = (\text{VUE (i)} - \text{VUE del inmueble}) * \text{Ponderación presupuestal (i)}$$

Indicador:

Circularidad VUE = $\sum \text{VUP (i)} / \text{VUE para el inmueble}$

Valuación de Circularidad Total

$\sum \text{Valor de Circularidad Indicadores} / \text{Cantidad de categorías evaluadas} = \text{Nivel de Circularidad (\%)}$

Cantidad de categorías evaluadas = 18

6. CONCLUSIONES

A lo largo de este estudio, se realizó un relevamiento de la situación climática actual y se expusieron estimaciones para los próximos años, más allá de opiniones encontradas acerca de la escasez y el agotamiento efectivo de los recursos en el futuro; en general existe consenso en el impacto medioambiental que generan las actividades humanas, esto requiere desarrollar una adecuada gestión de los recursos, evidenciando la necesidad de cambios profundos en la forma en que se explotan y administran los recursos naturales. Además de las consecuencias climáticas, se exponen rendimientos económicos magros recogidos a modo de ejemplo mediante la evolución del PBI Mundial.

Creemos que estas son dos líneas argumentales sólidas para ejecutar cambios en los sistemas productivos industriales dominantes. Para impulsar la transición hacia la EC se deben tomar en cuenta aspectos normativos, económicos, educativos y culturales.

Este nuevo paradigma productivo debe contar con un cuerpo normativo adecuado, de modo de apuntalar los nuevos modelos de negocios e impulsar las nuevas prácticas. Es fundamental fomentar las experiencias a nivel micro, mediante el desarrollo de programas públicos y privados, siendo además evidente la necesidad de medidas complementarias al marco normativo para lograr cambios profundos y rápidos que generen efectos contundentes en el medio ambiente.

Quedaron expuestas una serie de externalidades negativas producto del sistema predatorio actual, que deberán ser recogidas adecuadamente por la normativa, con un enfoque fuerte en los aspectos ambientales, fijando límites exigentes dentro de los cuales se podrán desarrollar las actividades económicas y productivas sin generar daños profundos en los ecosistemas.

Tanto la normativa como las certificaciones deben contribuir a definir y delimitar las obligaciones y responsabilidades de los distintos involucrados en el proceso productivo, por ejemplo, proveedores de materiales, empresas financieras, estudios de diseño, contratistas, clientes y usuarios. Es importante contar con certificaciones específicas como la ISO/TC 323 (próxima a publicarse), donde se busca promover el uso de materiales y prácticas sustentables y regenerativas.

Para impulsar las finanzas sostenibles los proyectos deben ser rentables y atractivos para inversionistas y consumidores. La forma en que se reporta actualmente la información económica y financiera debería ser modificada, dado que la normativa no exige que se reflejen los costos de los impactos ambientales y sociales producto de las distintas actividades que generan impactos medioambientales negativos. Por lo tanto, para poder evaluar correctamente la utilidad financiera generada deberíamos incorporar esta información.

Otro aspecto económico que podría ser mejorado mediante iniciativas circulares es la reducción de la variabilidad de los precios posibilitada por la diversificación en el tipo de materia prima a utilizar. A esto se agrega el surgimiento de nuevas oportunidades de empleo debido al uso de las nuevas metodologías de trabajo.

Ejecutar el cambio de los sistemas energéticos de combustibles fósiles hacia energías renovables, como la solar o la eólica, permitirá reducir las emisiones de GEI que provocan el efecto del CC. Debemos destacar el compromiso de una coalición cada vez más numerosa de países que buscan alcanzar el objetivo de cero emisiones para 2050.

Para lograr estos cambios en cuanto al sistema económico y productivo actual, se debe avanzar en materia educativa y cultural, con consumidores más capacitados, informados y conscientes de la problemática que estarán en condiciones de exigir productos con características de sostenibilidad medioambiental y homologados a través de certificaciones.

Las empresas en general tienen el desafío de establecer cambios que permitan pasar de modelos de negocio lineales a otros que impliquen ciclos cerrados de producción y consumo, generando un valor sostenible y aprovechando oportunidades potenciales que se generan en este camino. Podrán comenzar a través de prácticas concretas para luego integrar estos conceptos a su estrategia, con el objetivo de lograr proyectos cada vez más circulares.

La selección de proveedores con prácticas alineadas con la EC debe considerarse dentro de la política empresarial, así como realizar alianzas con otras empresas e industrias con las que se generen sinergias de cooperación y trabajo conjunto. A nivel estratégico también debe ser considerada la necesidad de inversiones iniciales que a mediano plazo van a ser determinantes para obtener resultados económicos más sustentables.

Es prioritaria la capacitación del personal de la empresa, el apoyo en la I+D aplicada a nuevos materiales y procesos. Es necesaria una inversión económica que permita la incorporación de herramientas informáticas para una gestión más eficiente en el manejo de recursos y materiales, generando información accesible para realizar un análisis de trazabilidad, la adquisición de infraestructura para el uso de energía limpia y renovable, sistemas de recuperación de recursos utilizados e implementación de programas de mantenimiento del activo fijo.

Como se señaló la EC busca disminuir al máximo la generación de productos que demanden el uso de recursos vírgenes, siendo la relevancia de la producción de una nueva construcción, lo primero que se debe cuestionar, realizando siempre que sea posible una rehabilitación o refuncionalización de un activo ya construido evitando la edificación innecesaria.

A la hora de identificar los aspectos de diseño que determinarán la construcción de un edificio más circular, se debe analizar la conveniencia de la gestión, de procedimientos o sistemas constructivos que permitan reducir el tiempo de obra. Además, en esta etapa es donde se definen las fuentes de energía y de gestión de los residuos generados, la elección de materiales e instalaciones, la incorporación de materiales de origen secundario normalizados y certificados, por destacar algunos.

Consideramos importante incorporar un diseño resiliente y flexible que permita un fácil desmontaje y un cambio de destino sin perder su funcionalidad y valor espacial, de modo de minimizar la generación de residuos y gastos energéticos en exceso.

Un Plan de Gestión de los Residuos permite una gestión adecuada de los ROC derivados de los procesos de demolición y excavación previos al comienzo de la construcción. Será necesaria la clasificación y la correcta gestión de cada residuo, por ejemplo, el hormigón será separado del hierro y procediéndose a su trituración in situ, facilitando su posterior reutilización en la misma obra, o en otra, o en otros procesos de otras industrias. Desarrollar mercados para materiales recuperados a partir de ROC parece ser un buen camino a seguir considerando el potencial que existe a partir de las toneladas generadas sin un adecuado tratamiento.

La medición de los procesos en relación a los principios de EC pasa a ser un aspecto relevante como evaluación del estado de situación inicial. Permitirá su revisión y la ejecución de cambios a nivel de estrategias empresariales. La aplicación de un instrumento de medición completo nos indica de manera tangible la situación de los procesos en materia de EC, así como su grado de avance a lo largo del tiempo a través de un análisis comparativo.

El índice diseñado contempla una serie de categorías para ser evaluadas en proyectos de obra de construcción de cualquier índole, con el objetivo de lograr una medición cuantitativa que refleje los aspectos más relevantes relacionados con los principios de EC.

La posibilidad de desarrollar instrumentos de medición con indicadores que nos muestren las carencias y oportunidades para poder trabajar en ellas y generar acciones nos permite lograr procesos productivos cada vez más circulares y por lo tanto una expansión de la EC.

A través del relevamiento y comparación de los principales índices de medición de circularidad de proyectos de construcción locales, concluimos que incorporan y analizan una importante cantidad de variables permitiendo la medición de sostenibilidad y circularidad con un alto grado de certeza. Es esperable que a lo largo del tiempo surjan nuevas herramientas que permitan mejorar los indicadores logrando índices más precisos.

Se consideran las etapas tempranas de proyecto de construcción, desde la planificación y el diseño, pasando por la capacitación de los colaboradores en esta materia, el contar con certificaciones de calidad y eficiencia de los recursos o el cumplimiento estricto de la normativa en materia medio ambiental. Luego en la etapa ejecutiva del proyecto constructivo, se incluye la utilización de recursos, el flujo de los materiales y se considera la posibilidad de compartir los activos y el análisis integral de la vida útil del bien.

En cuanto al proceso de aplicación del indicador en el piloto, podemos señalar que el acceso y la recolección de la información presentó dificultades que obedecieron a la forma en que se encontraba presentada y registrada. En algunos casos se realizaron estimaciones para determinar la masa de materiales y el consumo de recursos, el avance en la aplicación de indicadores de circularidad exigirá hacer hincapié en la calidad y la disponibilidad de los datos que se generan en el proceso de construcción, de forma que se alimenten correctamente los indicadores.

Los valores obtenidos en el piloto muestran un nivel de circularidad bajo y con registros de 0 en 10 de los 18 indicadores, más allá de lo evidente de la pobre situación en materia de

circularidad, habla de grandes oportunidades de mejora. Por citar algunas, la capacitación del personal, el desarrollo de acuerdos comerciales con proveedores que incorporen principios de EC, la incorporación de software que brinde información adecuada y la implementación de certificaciones en materia de calidad de procesos.

7. BIBLIOGRAFÍA

Accenture. (2015). La ventaja circular: Tecnologías y modelos de negocio innovadores para generar valor en un mundo sin límites de crecimiento. Disponible en: https://www.accenture.com/_acnmedia/accenture/conversionassets/dotcom/documents/local/es-es/pdf_5/accenture-la-ventaja-circular.pdf (consultado en junio 2022).

Arenas de Vidrio. Disponible en: https://www.instagram.com/arenas_de_vidrio/?hl=es, <https://www.facebook.com/arenasdevidrio/> (consultado en octubre 2022).

Banco Central de la República Argentina. (2019). Metodología del Índice de Precios de las Materias Primas.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2021). De Residuos a Recursos, Residuos de construcción y demolición en Montevideo.

Banco Mundial. (2022). Global Economic Prospects.

Banco Mundial. Datos de Libre Acceso del Banco Mundial. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/> (consultado en septiembre 2022).

BREEAM - BRE Group. Disponible en: <https://bregroup.com/products/breeam/> (consultado en julio 2022).

Castillo G. (2022). Gestión de residuos de obra civil desde la perspectiva del desarrollo sustentable y la EC. CCU con cooperación OIT. Disponible en: <http://ccu.com.uy/site/wp->

[content/uploads/2016/11/Presentaci%C3%B3n-Proyecto-CCU-OIT-Marzo-2022-v1.pdf](http://ccu.com.uy/site/wp-content/uploads/2016/11/Presentaci%C3%B3n-Proyecto-CCU-OIT-Marzo-2022-v1.pdf)

(consultado en setiembre 2022).

Cámara de la Construcción del Uruguay (2021). Informe de Producción Nacional de Cemento Portland. Disponible en: http://ccu.com.uy/site/?page_id=16165#1479996882079-93fad03b-cbd6 (consultado en septiembre 2022).

Cámara de la Construcción del Uruguay (2022). Diagnostico de Circularidad en el Sector de la Construcción. Disponible en: <http://ccu.com.uy/site/wp-content/uploads/2016/11/OC-Diagn%C3%B3stico-circularidad-sector-construccion-Versi%C3%B3n-Final-4.pdf>

(consultado en setiembre 2022).

Canton S., Machado R., Facio M, Gorriaran C. (2019). Modelo Suamvi. sustentabilidad Ambiental de la Vivienda. Intendencia de Montevideo.

CEP XXI Centro de Estudios para la Producción del Ministerio de Desarrollo Productivo de Argentina (abril 2022) Evolución de precios internacionales de insumos difundidos y commodities durante 2021 y el primer trimestre de 2022.

Comisión Europea (2020). Nuevo Plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y más competitiva.

Conama (2018). Economía circular en el sector de la construcción. 14º Congreso Nacional del Medio Ambiente. Disponible en:

http://www.cnama.org/conama/download/files/conama2018/GTs%202018/6_final.pdf

(consultado en septiembre 2022).

Cooperativa Productora de Ladrillos Ecológicos. Disponible en: <https://coople.uy/> (consultado en octubre 2022).

Corporación Nacional para el Desarrollo (2021).

[Herramienta de cálculo de emisiones de carbono | CND - Corporación Nacional para el Desarrollo](#). Disponible en: <https://www.cnd.org.uy/es/calculodeemisionesdecarbono>

(consultado en octubre 2022).

De la Torre L.(2018). El Reto de la Tecnología y los Recursos Minerales: La Realidad de un Progreso Sostenible para el S XXI.

Decreto Departamental núm 32826 del 2009. Disponible en: <https://www.gub.uy/junta-departamental-montevideo/institucional/normativa/decreto-departamental-n-32826-fecha-19022009> (consultado en setiembre 2022).

Deloitte Sustainability (2020) Study on the review of critical raw materials, Criticality assessments. European Commission.

Dixon W. (2010). The impacts of construction and the built environment. Briefing Notes, Willmott-Dixon G.

Ellen Macarthur Foundation. Material Circularity Indicator, Disponible en :

<https://ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator> (consultado en Julio 2022).

Fazio H. (2019). Cambio climático, economía y desigualdad: los límites del crecimiento en el siglo XXI. Eudeba.

Fontboté L. (2019). Recursos minerales del futuro.

García A., Quito J C.y Perdomo J. (2020). Análisis de la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente.

Green Building Council Uruguay (UYGBC). Disponible en :

<https://www.uygbc.org/#:~:text=El%20Uruguay%20Green%20Building%20Council,uso%20responsable%20de%20los%20recursos> (consultado en octubre 2022).

González G. (2020). De la Economía Lineal a la Circular: La logística inversa y la sostenibilidad de la cadena de suministro como elementos fundamentales del cambio.

Guzmán P. (2020). Introducción a la edificación sostenible.

Herrero, L., Lagüela, E., Capilla, A., Delgado, A., Cerdá, E., Larruga, F. y de Benito, B. (2020). Economía Circular-Espiral: Transición hacia un metabolismo económico cerrado.

INE Índice de Costo de la Construcción. Disponible en:

<https://www.ine.gub.uy/web/guest/icc-indice-de-coste-de-la-construccion>. (consultado en septiembre 2022)

International Platform on Sustainable Finance (europa.eu): Disponible en :

https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/international-platform-sustainable-finance_en
(consultado en Julio 2022).

ISO - ISO/TC 323 - Circular economy. Disponible en:

<https://www.iso.org/committee/7203984.html> (consultado en julio de 2022) .

KPMG (2020). Indicadores de Transición Circular “Métricas para empresas”

Kose M., Ohnsorge F. y Sugawara N. (2019). The growth forecast puzzle en Finance & Development.. Disponible en <http://bcn.cl/2ocw9> (consultado en junio de 2022).

Level(s). LEVELS_REPORT_es.pdf (europa.eu). Disponible en:

https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/levels_en. (Consultado en julio 2022)

MacArthur E. (2017) Escuelas de Pensamiento. Disponible en:

<https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/escuelas-de-pensamiento>

(consultado en julio 2022)

Ministerio de Ambiente. (2021). Plan Nacional de Gestión de Residuos. Disponible en <https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/PNGR-general.pdf> (consultado en agosto 2022)

Naciones Unidas y Organización Meteorológica Mundial (2022). Informe del Cambio climático, . Impactos, adaptación y vulnerabilidad, aprobado por los 195 Estados Miembros del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) .

Naturplus S.A. Disponible en <https://naturplus.com.uy/> (consultado en octubre 2022)

Organización Meteorológica Mundial. (2021) Boletín sobre los gases de efecto invernadero - N°17: Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2020.

Objetivos y metas de desarrollo sostenible. Desarrollo Sostenible (un.org) Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (consultado en junio de 2022)

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2018). The long view: Scenarios for the world economy to 2060. Disponible en: <http://bcn.cl/2ocwb> (consultado en junio de 2022).

Perojo J. (2018). Disponible

en: <https://www2.deloitte.com/mx/es/pages/dnoticias/articles/lecciones-crisis-financiera-2008.html> (consultado en junio 2022).

Plataforma Internacional de Finanzas Sostenibles (IPSF), Disponible en

https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/overview-sustainable-finance/platform-sustainable-finance_en (consultado en octubre de 2022).

Oficina de Planeamiento y Presupuesto (2019). Plan de Acción de Economía Circular.

Disponible en:

<https://www.uruguayemprendedor.uy/uploads/recurso/f9b7b28f1f6db547ffd9f1306f1a740507131cd8.pdf> (consultado en octubre de 2022).

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. PNUMA (2016). Panel Internacional de Recursos.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. PNUMA (2020). Informe sobre la Brecha de Producción.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. PNUMA. Plataforma de Circularidad. Disponible en: <https://buildingcircularity.org> (consultado en junio de 2022).

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. PNUMA 2020. Financiando la circularidad: Desmitificando las finanzas para economías circulares.

Programa Uruguay Circular. Disponible en: <https://uruguaycircular.org/> (consultado en octubre de 2022).

Ramos J. y Vidal A. (2021). Understanding Sustainable Entrepreneurship in the Fourth Sector through Integrated Balances: the case of Uruguay.

RCD Reciclaje. Disponible en: <https://www.rcdreciclaje.com/#/home> (consultado en octubre 2022).

Roda, C. y Tecnalía. 2019. Consultoría en estrategia de valoración y disposición final de residuos de construcción y demolición para Montevideo. Montevideo: BID.

Rodríguez P, Cabalé My Deroy D. (2019). El crecimiento económico como modelo de desarrollo social y su relación con el cambio climático. RETOS. Revista de Ciencias de la Administración y Economía.

Unión Europea (2022). Plataforma de Finanzas Sostenibles.

Uruplac SRL Disponible en: <http://www.uruplac.com.uy/empresa/es> (consultado en octubre 2022).

Valero A. y Valero A. (2021) Thanatia. Los límites minerales del planeta.

8. ANEXOS

ANEXO A. Encuesta para la Evaluación de Circularidad en el Sector de la Construcción

Circularidad en el Sector de la Construcción

pauljosegudino@gmail.com (no compartidos)
[Cambiar de cuenta](#)

Empresa Constructora

¿Cuál es el nivel de incorporación de principios de Economía Circular en la estrategia de la empresa?

1 2 3 4 5

Nada Todo

¿Dentro de la estrategia del negocio se considera la oportunidad de intercambio de materiales de salida con proveedores?

1 2 3 4 5

Nada Todo

¿En que medida se implementan herramientas de innovación y desarrollo que aporten a la circularidad de las obras?

1 2 3 4 5

Nada Todo

¿En que grado se utilizan indicadores para medir los resultados de las acciones relacionadas con Economía Circular?

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

¿En caso de tener definidos objetivos de Economía Circular, se contratan los activos que puedan ayudar a alcanzarlos?

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

¿En qué medida se valoran a los proveedores que apliquen acciones de Economía Circular en el proceso de compras?

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

¿Existe una evaluación de posibles recibidores de materiales de salida que permita su reutilización en otros procesos?

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

¿En que medida se han realizado capacitaciones de alguno de los principios de Economía Circular?, como: gestión eficiente de recursos, manejo o tratamiento de residuos, eficiencia energética, uso de energía renovable o gestión del agua

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

¿Se promueve la obtención de certificaciones de eficiencia en la utilización de recursos en los procedimientos?

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

Que barreras detecta para el desarrollo de acciones circulares?

Tu respuesta _____

Circularidad en el Sector de la Construcción

 pauljosegudino@gmail.com (no compartidos)
[Cambiar de cuenta](#)



Estudio de Arquitectura

¿Cuál es el nivel de incorporación de principios de Economía Circular en la estrategia de los proyectos de obra?

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

¿En qué medida se consideran las exigencias de los clientes para ejecutar las obras de acuerdo a principios de Circularidad?

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

¿Cuál es el nivel de apoyo por parte de la dirección de obra hacia la empresa constructora para implementar acciones innovadoras alineadas con Economía Circular?

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

¿En que medida se han realizado capacitaciones de alguno de los principios de Economía Circular?, como: gestión eficiente de recursos, manejo o tratamiento de residuos, eficiencia energética, uso de energía renovable o gestión del agua

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

¿En que medida se utilizan materiales, sistemas o procedimientos que permitan maximizar los recursos o minimizar el impacto medioambiental?

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

¿Se ha proyectado algún tipo de instalación para la generación y uso de energías renovables?

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

¿Se incorpora al diseño espacios o métodos destinados a la separación y clasificación de residuos generados durante la vida útil de la construcción que permitan facilitar el reciclaje?

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

¿En qué medida el diseño tiene en cuenta un cambio de actividades o destino dada una obsolescencia funcional de la obra?

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

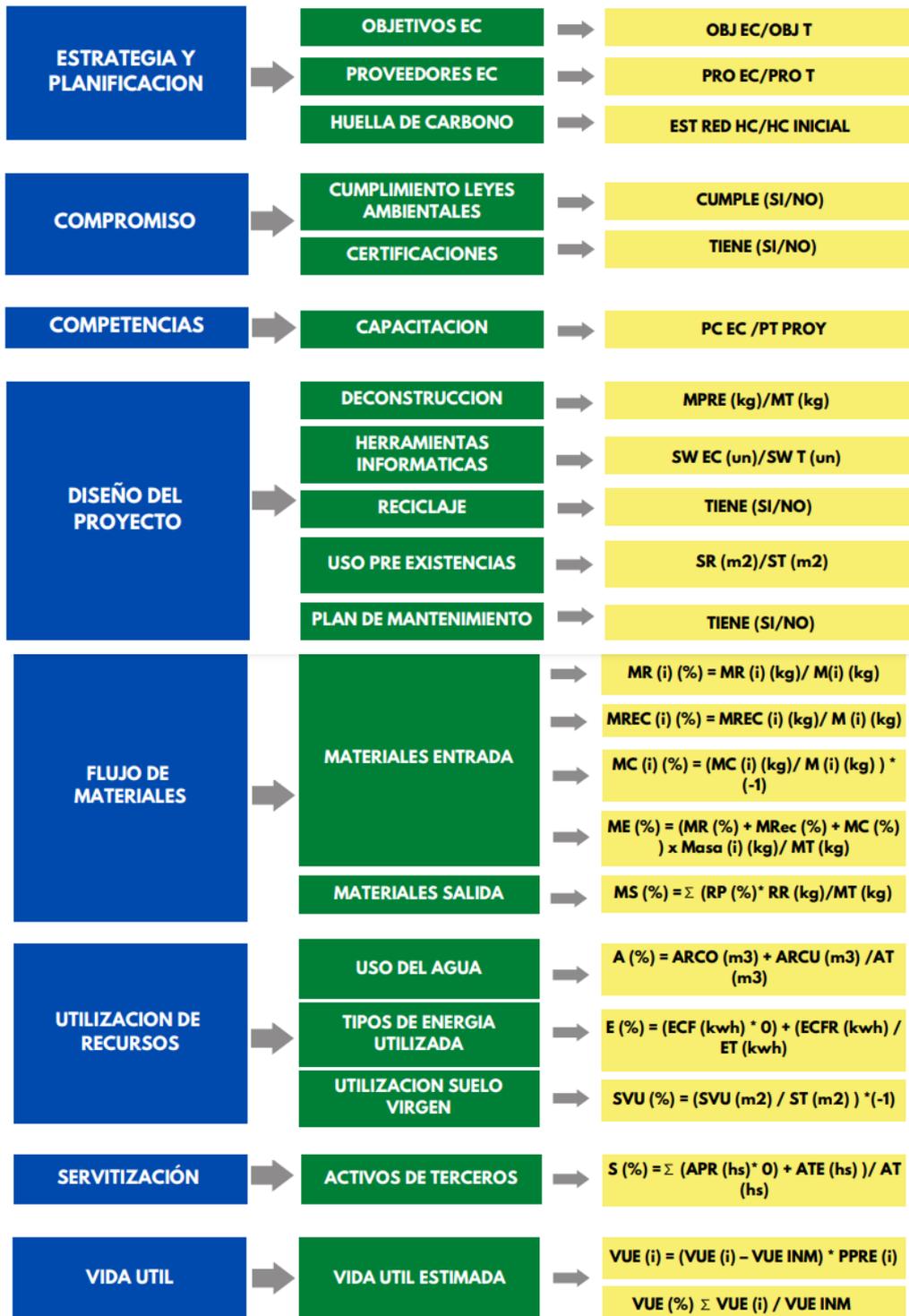
¿Se han tenido en cuenta en el diseño productos o sistemas que permitan facilitar el mantenimiento?

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	Todo				

Que barreras detecta para el desarrollo de acciones circulares?

Tu respuesta _____

ANEXO B. Índice de Circularidad Diseñado



**INDICE DE
CIRCULARIDAD
DE LA OBRA (%)**

**Σ VALOR DE CIRCULARIDAD INDICADOR (I) (%) / CANTIDAD DE
CATEGORÍAS EVALUADAS**

REFERENCIAS

EC - Economía Circular	ARCO - Agua Recolectada
PC - Personal Capacitado	ARCU - Agua Recuperada
MPRE - Material Prefabricado	AT - Cantidad de Agua Total utilizada
MT - Material Total	E - Energía
SW - Software	ECF - Energía proveniente de Combustibles Fosiles
SR - Superficie Rehabilitada	ECFR - Energía proveniente de Fuentes Renovables
ST - Superficie Total utilizada	SVU - Suelo Virgen Utilizado
MR - Material Renovable	ST - Superficie de Suelo Total
MREC - Material Recuperado	APR - Activos Propios
MC - Material Critico	ATE - Activos de Terceros
ME - Materiales de Entrada	AT - Activos Totales Utilizados
MS - Materiales de Salida	VUE - Vida Util Estimada
RR - Recuperacion Real	VUE INM - Vida Util Estimada del Inmueble
RP - Recuperacion Potencial	PPRE - Ponderacion Presupuestal

ANEXO C. PILOTO: Aplicación del Índice en la Construcción de un Depósito de Fertilizantes

El piloto se aplicó a una obra de construcción de un silo para el acopio de fertilizantes a granel en la ciudad de Nueva Palmira, Colonia.

Para esto se realizó la demolición de muros y cubiertas existentes en el sitio que se utilizaron como relleno para nivelar el terreno. La nueva edificación está compuesta por elementos de hormigón armado prefabricado in situ y una cubierta con estructura y chapas metálicas.

Las dimensiones son de 40 x 70 metros, con una capacidad aproximada de almacenamiento de 40.000 toneladas con un peso específico de 1000 kg/m³.





Estructura de hormigón prefabricada

Los elementos premoldeados de hormigón se fabricaron y se acopiaron a pie de obra. Se trata de pilares premoldeados de hormigón armado de alta resistencia, sobre los cuales se apoyan 3 niveles de losetas de hormigón prefabricado conformando las paredes, las cuales reciben el empuje lateral de unos 8 metros de altura de producto a granel acopiado.



Los pilares tienen una sección de 25 x 90 cm y las losetas tienen un espesor de 10 cm con 2 nervios longitudinales de sección 17 x 30 cm.



Piso del Silo y del Área de Carga

El pavimento es de hormigón simple, de 20 cm de espesor total, con vigas de hormigón armado perimetrales.

Este contrapiso se realizó sobre una sub-base granular de CBR > 60% compactada al 95%. La base del suelo cemento es de 10 cm, con 80/100 kg de cemento por metro cuadrado.



La cubierta

El tinglado de la cubierta existente se dispuso como residuo, integrando el plan de gestión de residuos sólidos industriales habilitado. La estructura de la cubierta está compuesta por arcos metálicos reticulados de acero redondo, sobre los cuales descargan correas reticuladas. La terminación de la cubierta está conformada por chapa de acero galvanizado de 0.5 mm.



Tinglado de operaciones de carga y descarga

Al norte del edificio se construyó además una cubierta para el área de carga y descarga de 40 x 10 metros compuesto por estructura de pilares y vigas reticulados y terminación con chapa metálica.



Portones de Acceso

Se suministraron dos portones resistentes a la carga del fertilizante



Ventilación

Se instalaron extractores y louvers de renovación de aire. En áreas de depósito se aseguraron no menos de tres renovaciones por hora. Se instalaron extractores eléctricos y ductos de extracción con trampas de polvo.

Obras Exteriores, Movimiento de Suelo y Caminería.

Se desarrollaron tareas de excavaciones para la colocación de los pilares prefabricados.

El volumen que surgió del movimiento de tierra de las excavaciones se utilizó como relleno compactado en el mismo predio. Se realizó la construcción de una vereda perimetral de 1.50 metros de ancho alrededor del Galpón Silo.

Detalle de trabajos:

Limpieza: Se realizó una limpieza de unos 30 cm de espesor de la capa vegetal, se retiró la capa superficial de tierra vegetal en toda el área a desmontar y terraplenar, la que se dispondrá en el predio. Se reservó parte para el recubrimiento con suelo de pasto de taludes y cunetas.

Desmante y terraplén: Se niveló el área de caminos y edificios a la cota del proyecto. Incluyendo el área reservada para un segundo depósito. Se dispuso cunetas para encauzar los escurrimientos pluviales fuera del área de trabajo.

Calle auxiliar: Se construyó según cotas del proyecto siendo el pavimento una base granular con CBR > 60%.

Escurremientos pluviales: Se canalizó los escurrimientos del vertido de pluviales del edificio principal mediante dos cunetas revestidas de suelo cemento de 10 cm de espesor y alcantarillas de hormigón. La canalización de los escurrimientos superficiales se realizó mediante cunetas revestidas de suelo pasto y alcantarillas de hormigón. Estas canalizaciones llegan a la laguna de amortiguamiento evitando el derrame del agua de lluvia con exceso Fósforo, Nitrógeno y Potasio hacia los cursos de agua cercanos.

Se construyó un dren francés al oeste del Depósito para evacuar escurrimientos superficiales de la parte alta del terreno, con geotextil tipo Bidim 600, pedregullo doble lavado y dren perforado de 110 mm, con cámaras cada 30 metros.

Índice de Circularidad aplicado al Depósito de Fertilizantes a granel.

Indicadores:

Flujo de Materiales de Entrada

	Toneladas Totales	Material Virgen (Ton)	Material Renovable (Ton)	Material Recuperado (Ton)	Total
ROC de la misma Obra	224	0	0	224	4.29 %
Áridos (arena y piedra)	4.400	4.400	0	0	0,00 %
Piezas de Acero	11	11	0	0	0,00 %
Pinturas e Impermeabilizantes	5	5	0	0	0,00 %
Piezas de Hierro	85	85	0	0	0,00 %
Chapas	19	19	0	0	0,00 %
Cemento Portland	475	475	0	0	0,00 %
Totales	5.219	4.995	0	224	4.29 %

Flujo de Materiales de Salida

	Toneladas Total	Recuperación Real (Ton)	Potencial de Recuperación	Total Recuperado (Ton)	Total
Paredes de Bloque ROC	300	280	80%	224	62,22%
Estructura Metálica	60	40	50%	20	5,56%
Totales	360	320		244	67,78%

Uso del Agua

	Metros Cúbicos (m3)	Total
Agua Potable	1.000	0%
Agua recogida de Lluvia	0	0%
Agua Recuperada	0	0%
Totales	1.000	0%

Uso de la Energía

	Kilowatts	Horas Utilizadas	Kilowatts/ Hora	Total
Gas Oil Retroexcavadoras	89	120	209	0%
Gas Oil Palas Mecánicas	149	200	349	0%
Gas Oil Elevadores	358	480	838	0%
Elevadores Eléctricos	410	550	960	41%
Totales	1.007	1.350	2.357	41%

Servitización de Equipos

	Total de Horas	Horas Propias	Horas de Terceros	Total
Palas Mecánicas	200	200	0	0%
Retroexcavadoras	120	0	120	9%
Elevadores	1.030	0	1.030	76%
Totales	1.350	200	1.150	85%

Utilización de Suelo Virgen

	Metros Cuadrados Vírgenes	Metros Cuadrados Totales Afectados	Total
Silo para Fertilizantes	0	2.800	
Caminería y Áreas de Carga para Fertilizantes	100	600	
Total	100	3.400	-3%

Rehabilitación de Obras Preexistentes

Metros Rehabilitados	200
Metros Totales afectados a la obra	3.400
Total	6%

Vida Útil Estimada

	VUE por ítem (años)	VUE para la Obra (años)	Diferencia	Peso Relativo en el PTO	Total
Techo	20	40	20	30%	0
Estructura Hormigón Paredes	40	40	0	40%	0
Pavimentos	40	40	0	20%	0
Totales					0 %

Tabla Resumen

Item	Resultado por Item	Porcentaje del Total
Objetivos en EC	0%	0%
Proveedores con Principios en EC	0%	0%
Huella de Carbono	0%	0%
Cumplimiento de Leyes Ambientales	100%	6%
Certificaciones	0%	0%
Capacitación en EC	0%	0%
Deconstrucción	50%	3%
Herramientas Informáticas	0%	0%
Reciclaje	0%	0%
Plan de mantenimiento	100%	6%
Flujo de Entrada	0%	0%
Flujo de Salida	68%	4%
Agua	0%	0%
Energía	35%	2%
Servitizacion de Equipos	85%	5%
Utilización de Suelos	3%	0%
Rehabilitación	6%	0%
Vida Útil	0%	0%
ÍNDICE DE CIRCULARIDAD		25%

ANEXO D. Herramienta de Cálculo de Emisiones de Carbono. Corporación Nacional para el Desarrollo

RESULTADOS ABSOLUTOS AÑO DE CÁLCULO

Año de cálculo	0		
Huella de carbono de alcance 1+2 del año de cálculo	0 t CO ₂ eq		
ALCANCE 1	Instalaciones fijas	0	t CO ₂
	Desplazamientos en vehículos*	0	t CO ₂
	Refrigeración/climatización	0	t CO ₂ eq
	TOTAL ALCANCE 1	0	t CO₂eq
ALCANCE 2	Electricidad	0	t CO ₂ eq
ALCANCE 3		0	t CO ₂ eq
ALCANCE 1+2+3		0	t CO ₂ eq

Huella de carbono según alcances (t CO₂ eq)

Distribución de actividades emisoras

3. COMBUSTIBLES FÓSILES

Completar en caso de que la empresa/ organización, para el desarrollo de su actividad:

- A. Disponga de instalaciones fijas (calderas, hornos, turbinas, etc.) que consuman combustibles fósiles para la generación de calor y/o vapor
- B. Realice desplazamientos en vehículos propios o alquilados (ya sean automóviles, camiones, furgonetas, motos, etc.)
- C. Otros Consumos de combustible. Ej: maquinarias. En este caso ver opciones en hoja de Factores de emisión.

A. INSTALACIONES/MAQUINARIA

CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN INSTALACIONES FIJAS					
Sede/ Edificio/ Obra	Combustible	Cantidad comb. (l)	Factor emisión (kg CO ₂ eq/l) ⁽¹⁾	Emisiones parciales (kg CO ₂ eq)	EMISIONES TOTALES INSTALAC. FIJAS (kg CO ₂ eq)
			Por defecto		
				-	0

B. DESPLAZAMIENTOS EN VEHÍCULOS QUE CONSUMEN COMBUSTIBLES FÓSILES

CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN DESPLAZAMIENTOS						
Opción B.1 (Combustible consumido)					Opción B.2 (km recorridos y modelo de vehículo)	
Vehículo o flota de vehículos	Tipo de Combustible	Factor emisión (kg CO ₂ eq/l)	Cantidad comb. (l)	Emisiones parciales B.1 (kg CO ₂ eq)	Modelo de vehículo (2)	km recorridos
		Por defecto				
				-		

4.FLUORADOS

Completar en caso de que la empresa disponga de equipos de refrigeración y/o climatización que utilicen gases refrigerantes fluorados en los que se haya detectado que se han producido fugas (por su uso, un accidente, etc.) de estos gases en los mismos.

REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN (FUGA DE GASES FLUORADOS)							
Sede/Edificio/Obra	Nombre del gas o de la mezcla	Tipo de equipo	Carga inicial del equipo (kg)	Recarga anual del equipo (kg)	PCA	Emisiones parciales (kg CO ₂ eq)	Emisiones totales (kg CO ₂ eq)
						-	0

5. ELECTRICIDAD

A. CONSUMO DE ELECTRICIDAD EN EDIFICIOS

Completar en caso de que la empresa, para el desarrollo de su actividad, consuma electricidad en sus edificios y/o disponga de vehículos eléctricos y/o híbridos enchufables.

En el siguiente cuadro se tendrá que indicar la suma de los kWh consumidos durante el año.

ELECTRICIDAD EDIFICIOS				
Sede/Edificio/Obra	Dato de consumo (kWh)	Factor emisión (kg CO ₂ /kWh)	Emisiones parciales (kg CO ₂)	Emisiones edificios (kg CO ₂)
			-	0

6. OTRAS EMISIONES: ALCANCE 3

A. OTRA MAQUINARIA MATERIALES Y TRANSPORTE A OBRA

A1. OTRA MAQUINARIA

Maquinaria (t)	Cantidad	Unidad	Factor de Emisión (Kg CO ₂ eq/Unidad) (t)	Kg CO ₂ eq	EMISIONES TOTALES MAQUINARIA (kg CO ₂ eq)
				-	0

B. ASOCIADAS A LA EJECUCIÓN OBRA SUBCONTRATADA

Empresas subcontratadas	Emisiones asociadas a servicios de Kg CO ₂ eq	EMISIONES TOTALES SUBCONTRATOS (kg CO ₂ eq)
		0

ANEXO E. Tabla Comparativa de Indicadores Existentes a Nivel Local

Indicadores Propuestos	Fuente	Categoría en el indicador CCU	Categoría en el indicador SUAMVI
Flujo de Entrada	WBCSD	Materiales y productos	Materiales. 2.1 y 2.3
Flujo de Salida	WBCSD	Materiales y productos	Gestión de obra 7.4
Agua	CCU + aportes	Agua	Gestión de obra 7.3
Energía	CCU + aportes	Energía	Gestión de obra 7.2
Servitización de Equipos	Propia	Activo, planta y equipos	NC
Utilización de Suelos	Propia	NC	NC
Rehabilitación.	Propia	NC	NC
Vida Útil Estimada	Propia	NC	Materiales. 2.2
Objetivos con principios de EC	Circuitics	Estrategia y planificación	NC
Proveedores	CCU + aportes	Servicios	NC
Capacitación en EC	CCU + aportes	Personas y competencias	NC
Cumplimiento de leyes ambientales	Propia	NC	Gestión de obra 7.1 y 7.5
Certificaciones de eficiencia de recurso	CCU + aportes	Compromiso externo	NC
Huella de Carbono	CCU	Energía	NC
Reciclaje	Propia	NC	Residuos 6.1
Plan de mantenimiento	Propia	NC	Agua. 3.1 Energía 5.6
Desconstrucción	Propia	Materiales y productos	Materiales. 2.4
Uso de Herramientas Informáticas	CCU	Operaciones	NC

NC: No considerado